Science Council of Canada
Conseil des sciences du Canada

Discussion Paper

Issues in Food Irradiation

Susan Mills

ISSUES IN FOOD IRRADIATION

Susan Mills

April 1987

Discussion papers are working documents. They are made available by the Science Council of Canada, in limited numbers, to interested groups and individuals for the benefit of their comments.

The views expressed in this discussion paper are those of the authors and are not necessarily endorsed by the Science Council of Canada.

Copies of

ISSUES IN FOOD IRRADIATION

are available
free of charge from:

The Publications Office
Science Council of Canada
100 Metcalfe Street
Ottawa, Ontario K1P 5M1

Vous pouvez aussi vous procurer la version française à l'adresse ci-dessus.

©Minister of Supply and Services, 1987

Catalogue No. SS21-5/1987-2E
ISBN 0-662-15407-X

CONTENTS

Foreword, 5

Preface, 7

Executive Summary, 9

Chapter One. The Potential of Food Irradiation, 13
- The Opportunity, 13
- The Challenge, 14

Chapter Two. How Food is Processed by Ionizing Energy, 16
- What Ionizing Energy Does, 16
- Types of Irradiation Equipment, 16
  - Radioisotopes and Canadian Gamma Irradiator Technology, 17
  - Electron Accelerator Technology -- Linacs, 19
  - X-ray Machine Technology, 20

Chapter Three. Uses of Food Irradiation, 21
- Dose Ranges, 21
- Treatment Effects, 21
  - Fumigant Replacement, 21
  - Pathogen Reduction in Meat and Poultry, 23
  - Shelf Life Extension, 24
  - Manufacturing Advantages, 24
  - Treatment Limitations, 24

Chapter Four. Safety and Nutrition, 26
- The Irradiation Equipment, 26
- Food Treated with Ionizing Radiation, 27
  - Research, 27
  - Toxicology, 28
  - Nutrition, 31
  - Microbes: Mutants and Survivors, 32

Chapter Five. International Commercial Use, 33
- Extent of Current Use, 33
- Applications in Less Developed Countries, 39
- Standards and Use in the United States, 40

Chapter Six. Canadian Commercial Use, 42
- Workshop on Food Irradiation, 42
- Enabling Legislation, 43
- Labelling Regulations, 44
- Canadian Research and Potential Use of Food Irradiation, 45
- Economic Considerations, 47
  - Costs and Benefits, 48

Consumer Acceptance, 49
Demonstration Facilities and Applied Research, 50
Export Market Opportunities for Canadian Food Irradiation Technology, 52

Chapter Seven. Conclusion, 55
Toward Action, 56

Notes, 58

List of Tables
Table I. Dose Applications for Food Irradiation, 22
Table II. Commercial Irradiators Available for Treating Food/Feed, 34
Table III. Commercial Irradiators Planned for Treating Food/Feed, 37

List of Figures
Figure I. Food Irradiation with Electromagnetic Energy, 17
Figure II. Pallet Irradiator -- Automatic, 18
Figure III. International Symbol for Food Irradiation, 46

FOREWORD

New technologies can be used to modernize traditional industries, to develop new industries, and to diversify the national economic base. The Science Council's Emerging Science and Technologies (EST) program was set up to identify early on developments in science and technology that could be critical to Canada's future economic success and to stimulate action to exploit these developments.

The EST program involves extensive consultation, in particular bringing together scientists, technologists, industrialists, and venture capitalists at workshops and conferences. Each meeting focuses on an emerging or uncommercialized area of science or technology and on the economic sectors or industries that could benefit from the commercial application of research in this area. The aim is to play a catalytic role and to promote contacts among key players who might otherwise never meet.

Earlier discussion papers focused on advanced industrial materials and emerging plastics technologies. Another reported the results of a national survey in which leading scientists and engineers identified the emerging technologies that they judge will be of strategic importance for Canada. One of the emerging technologies mentioned by several respondents is food irradiation.

This paper reports on a workshop on food irradiation. It points out areas where policy decisions are required and outlines a plan of action, involving public and private sector cooperation, that would allow Canada to grasp the opportunities arising from its current world leadership in food irradiation technology.

Guy P.F. Steed
Associate Director of Research
Science Council of Canada

PREFACE

This discussion paper has two goals: first, to raise public awareness of food irradiation, an emerging technology in which Canada has the potential to build a new industry, mainly oriented to promising overseas markets; and second, to help build consensus among government[1] and private sector[2] decision makers about what has to be done to realize the domestic and export potential.

The following pages discuss the potential of food irradiation; indicate how food is irradiated; outline the uses of food irradiation; examine questions of the safety of the equipment and both the safety and nutritional value of irradiated food; look at international commercial developments; assess the current and emerging domestic scene; and, finally, draw some conclusions and offer suggestions for action.

Many individuals have assisted the author with their knowledge, advice, and time in the preparation of this document. Grateful thanks are due to the team at Agriculture Canada, and to representatives of the Health Protection Branch, Health and Welfare Canada, of Consumer and Corporate Affairs, of the Grocery Products Manufacturers of Canada, of the Consumers' Association of Canada, of AECL-RCC, of CRESALA, of Accelerator Associates, and of Ionizing Energy Company of Canada Limited (IONX).

Special thanks go to Kevin Knight of K. Knight Management for his research contribution and unflagging interest. Guy Steed, Ruth Wherry, and Kevin Wilmut gave freely of their support and thoughtful analysis, particularly in teasing out questions of social risk and benefit in technological change. Not least, thanks are due to the library and communication staff at the Science Council for their assistance.

EXECUTIVE SUMMARY

Now that many countries have set standards for the use of irradiation on various foods for human consumption, the global market for food irradiation technology is growing rapidly. Canada, as a world leader in this technology, has an opportunity to supply this market. This opportunity can be fully exploited only if Canadians' own fears about the technology are addressed, and a federal government department co-ordinates a plan of action involving both the public and private sectors.

Food irradiation entails exposing food to ionizing energy, which passes through the product leaving no residual radioactivity. When this ionizing energy, which includes gamma rays, x-rays, and electron beams, passes through food, molecular bonds are broken, and new stable products form. This chemical change stops normal cell division and differentiation. Therefore it can sterilize or kill insects, destroy parasites, and eliminate pathogenic and spoilage microorganisms. Thus the shelf life of "fresh" foods can be extended; meat, poultry, and spices can be purified of disease-causing organisms; and produce can be disinfested of insects. In addition, irradiation can inhibit sprouting in root crops such as potatoes or onions and slow ripening in some fruits.

The process, which has a 40-year history of applied research and toxicological evaluation, is not yet widely used. Recently the interest of both domestic and international food companies has been spurred by the acceptance in 1983 by the United Nations Codex Alimentarius Commission that foods irradiated below a certain level (10 kilograys) are safe and nutritious and that food irradiation should be treated legislatively as a process and not an additive. Irradiation is not used in Canada at present, although there is approval under existing regulations for potatoes, onions, wheat flour, and spices. Proposed new legislation by Health and Welfare Canada recommends acceptance of the UN commission's findings. This would speed approvals of irradiated foods because no further expensive and lengthy toxicology testing would be required, but specified data about process quality control and standards would be necessary for clearance of each treated product. Labelling would be required using specific wording and an international symbol.

In Canada food irradiation will likely fill certain market niches over the long term rather than see a general application. Some Canadian companies are interested in its potential to reduce disease-causing organisms in chicken and meat, to purify spices, to make fruit juice shelf-stable, and to extend the shelf life of fresh fish and fruit. Japan, the U.S.S.R., South Africa, the Netherlands, Hungary, and Israel are the only countries to sell food domestically that they have treated with ionizing energy. In April 1986 the United States Food and Drug Administration approved irradiation to disinfect dried enzymes and spices, to destroy trichina in pork, and to disinfest fresh fruits and vegetables. When final inspection protocols have been determined, the door will be open to export of tropical irradiated fruit to the United States and, through that country, to Canada.

The real spur to treating food with ionizing energy comes from tropical countries exporting shell fish, spices, fruits, and vegetables to the temperate North. To meet international food hygiene and quarantine requirements, they need a means to reduce pathogenic organisms on fish and meat and an alternative to recently banned pesticide fumigants for fruits and vegetables. Many of these countries would use irradiation to

increase the volume and variety of their cash food exports and to improve domestic public health.

On the basis of the irradiation technology and cobalt-60 energy source developed by Atomic Energy of Canada Limited Radiochemical Company (AECL-RCC), Canada has the capacity to meet this market demand. Three types of irradiation equipment -- radioisotopes (cobalt-60 and cesium-137), electrically powered linear accelerators or "linacs," and x-ray machines -- compete for the market. Because cobalt-60 provides the greatest depth and uniformity of penetration it can be used to process the widest variety of products. Therefore at present most irradiation specialists favour radio-isotopic technology for food irradiation. Prospective developments in high-intensity electron accelerators indicate this technology will also be useful for food treatment, although its more limited penetration capability will limit the sizes and shapes of food products treatable.

AECL-RCC, the world's primary supplier of cobalt-60, already leads world sales of irradiation facilities that use this substance to sterilize biomedical disposable products. The crown-owned firm has now adapted its irradiation technology to process food and is able to supply the equipment, the process control system, and the energy source to customers. In order to compete for customers who prefer other irradiation methods, AECL and several other Canadian firms are also developing new high-intensity linear accelerators.

Many foreign firms, supported by their governments, are now chasing the burgeoning market for food irradiation technology in the tropics. They are offering both accelerator technology and alternative facility designs that use cobalt-60 bought from Canada or another supplier. If the Canadian industry is to compete successfully against them it needs immediate government attention and support. Success might be enhanced and the financial benefits of sales of Canadian irradiators could be extended to other industries if a supporting package of Canadian goods and services were made available. Consortia agreements between suppliers of irradiation equipment and consultants, engineering firms, warehouse and refrigeration specialists, food equipment suppliers, and commodity traders could be advantageous for business and increase Canada's trade with industrializing nations.

Canada may soon be a major importer of irradiated tropical foods. But will consumers accept food treated in this manner? Foreign purchasers of our irradiation technology want to know that Canadians are prepared to purchase back irradiated foods. Consumer acceptance still needs to be verified in Canada. That will involve establishing labelled market trials to test consumer acceptance.

The low level irradiation of food has been widely endorsed by the scientific community but public controversy has arisen and opinion has begun to polarize regarding acceptability of the technology. One controversy centres around the safety of workers, the transportation of isotopes, and the supply and disposal of isotopes by the nuclear industry. There are undoubted hazards involved, but transportation and worker safety are stringently controlled by the Atomic Energy Control Board in Canada and sister organizations around the world.

Another controversy is whether or not ionizing energy degrades the nutritional qualities of food or leaves toxicological effects. The evidence is that the effect of

ionizing energy on fats, carbohydrates and protein is very small at the energy levels generally used, and feeding trials show the nutritional availability to be fully satisfactory. Irradiation does destroy some of the vitamin content in food but less than other conventional processes.

Multidisciplinary teams of scientists have carried out toxicological testing to evaluate the compounds (radiolytic products) found in minute amounts when ionizing energy breaks the bonds of some food molecules. Similar compounds exist in unprocessed food and in foods conventionally processed. They have not been found to impart toxic qualities to food. Animal feeding studies, some covering several generations, have been carried out to assess birth defects, cancer development, and genetic changes. Some studies suggest that irradiated foods may cause chronic mutagenic and reproductive effects, but the legitimacy of these findings has been called into question and refuted by multidisciplinary teams from many nations. Scientific peer review of the methodologies and findings and futile attempts to replicate the research have led the scientific community to reject the validity of these studies. Nevertheless, public interest groups stress that there are some negative findings and that no long-term human studies exist to prove the safety of irradiated food. They also question the necessity for a new food process closely linked with the nuclear industry.

Should Canada decide to exploit the potentials arising from food irradiation technology, four sectors must cooperate now to implement an informed, focused, and united plan of action. These are the food industry, the nascent food irradiation industry (including AECL-RCC and other companies with complementary expertise and interests), university researchers, and a variety of government departments with mandates governing various aspects of food processing, hygiene and inspection, trade, industrial support, foreign aid, and international relations. These key actors were brought together at a Science Council of Canada workshop. Participants at the workshop agreed that a primary need was to identify a federal agency to promote coordinated action. Agriculture Canada agreed to play this role. Although Agriculture Canada has established an advisory committee on food irradiation, it has not yet prepared a plan of action involving government and the private sector. The plan should include the following main elements:

- Health and Welfare Canada must speedily complete the regulatory approval of food irradiation as a process rather than as an additive and publish the specified control limits under the Food and Drug Act.
- With a view to speeding up individual clearance procedures, Health and Welfare Canada should make food irradiation petitions a priority and clearly establish the steps to be followed.
- Consumer and Corporate Affairs Canada should speed the publication of clear labelling guidelines.
- The Grocery Products Manufacturers of Canada should facilitate discussion in the private sector with regard to using food irradiation and with regard to providing objective and credible information to consumers.
- The Department of Regional Industrial Expansion should reassess its role with regard to food irradiation and work in conjunction with the Department of External Affairs to market the technology internationally, by encouraging formation of consortia capable of delivering large computerized food handling facilities centred around food irradiation.

- Health and Welfare Canada and Agriculture Canada should set in place training requirements for field officers and inspection protocols for monitoring process standards in both domestic and foreign food irradiation facilities and for verifying the acceptability of imported foods irradiated for quarantine purposes.
- Agriculture Canada, as the federal lead agency, should coordinate discussions with the private sector and other government agencies to establish who should be responsible for the following:
  - an inclusive public information program for consumers, members of the food industry (processors, distributors, packagers, and handlers), and government policy and decision makers;
  - the design and funding of generic market trials of test products, the results of which should be available to all potential users of irradiation technology;
  - the establishment of documentation requirements, specialist support, and procedures needed to guide potential users of food irradiation technology and importers of irradiated food through the labyrinth of clearance and inspection procedures.

CHAPTER ONE. THE POTENTIAL OF FOOD IRRADIATION

The Opportunity

Today's food industry is considerably interested in new food packaging and processing technologies which promise to preserve food without heat or chemical additives and yet retain the food's fresh taste, texture, and appearance. An interesting example is irradiation -- the processing of food with intense electromagnetic energy. Irradiation entails exposing food to a form of energy similar to that of light. This energy, sometimes referred to as ionizing energy, passes through the product leaving no residual radioactivity. Appropriate treatment of food with ionizing energy can produce a number of different effects. It can:

- extend the shelf life of animal and plant products by destroying spoilage organisms, thus reducing the requirement for chemicals used in preservation;
- eradicate insects in stored grain, fruit, and spices and is therefore an alternative to gas fumigants used to meet quarantine requirements of food-importing countries;
- destroy food-borne microorganisms and parasites in frozen, fresh, and processed foods;
- delay ripening in some fruits and vegetables and stop sprouting in stored root crops such as potatoes, onions, garlic, and yams;
- produce sterile products that can be stored without refrigeration;
- reduce cooking times of some foods and tenderize others.

Food irradiation has a 40-year history of applied research and toxicological evaluation but has not yet achieved full commercialization. The low level irradiation of food has been widely endorsed by the scientific community but public opinion has polarized over its acceptability. Questions have been raised as to whether the process is safe, nutritionally sound, commercially viable, or necessary.

Many food firms in Canada and around the world are interested in various applications of the technology, but the lack of clear national and harmonious international legislation; insufficient information to evaluate economic feasibility; and fears of consumer rejection of irradiated products have deterred companies from using it. However, three situations are spurring a more rapid commercialization of this technology both in Canada and elsewhere:

- the acceptance in 1983 by the Codex Alimentarius Commission (the United Nations food committee) that foods irradiated below a certain level are safe and wholesome and therefore that toxicological testing is no longer necessary. It recommended that member nations adopt this guideline and reclassify the technology as a process rather than a food additive for regulatory purposes.
- the need to find an alternative method to meet quarantine requirements for imported foods following the banning of the pesticide fumigant ethylene dibiomide in 1984;
- the need to decrease the growing incidence of food-borne diseases.

A large world market for food irradiation equipment is developing as many nations move toward legislative approval and implementation of the technology. In Canada and other industrialized countries demand for irradiation will be long term since it must compete for a niche among conventional technologies. Where there are clear advantages, for instance, to reduce salmonellae in chicken, to kill trichinella in pork, to

extend the shelf life of some fruits, potatoes, and onions, adoption of specific commercial applications is proceeding slowly and in stages. In the short term more immediate pressures to use the technology come from food-exporting countries. In particular, tropical countries that depend on export income from trade in fruits, vegetables, fish, and meat are very interested. The recent ban on fumigants used on fruits and spices and demands for improved hygiene in meat and fish products at ports of entry have caused an urgent search for a technology to satisfy international quarantine requirements. For some, irradiation has become the technology of choice.

Canada, having a proven capability in the technology of irradiating bulk products, is in an enviable position to supply this market. Over the past 20 years the crown corporation, Atomic Energy of Canada Limited Radiochemical Company (AECL-RCC), has led world sales in gamma irradiation facilities to sterilize disposable medical supplies. The AECL-RCC technology package of facility design, process control method, and equipment has been developed around use of the gamma-ray-producing radioisotope cobalt-60. This is the energy source best suited for deep product penetration and AECL-RCC supplies 80 per cent of the world market. With some adaptations to accommodate product fragility and the low energy doses required, this technology is now being marketed to irradiate food.

A promising alternative technology for irradiating less bulky foods is the linear accelerator or linac, an electric machine that produces beams of electrons. A constraint of linacs is that unlike gamma rays, electrons are unable to deeply penetrate large, dense products. New higher-intensity linacs are being developed by several Canadian companies which will be able to treat foods that fall within the required dimensions and density.

As the centerpiece of a technology transfer strategy, food irradiation could be the vehicle for sales of complementary Canadian goods and services. Consortia arrangements would include operator training, feasibility evaluation, consulting engineering, food systems management, warehousing, packaging, and refrigeration. In addition, this "added-value" activity would strengthen Canada's position in international agricultural equipment and commodities exchanges.

The Challenge

But Canada's opportunity to capitalize on food irradiation technology is not assured since competitive challenges and economic and social barriers to use exist.

Competition is strong from companies in the United States and elsewhere that have developed their own technology packages that reduce the Canadian input to the simple provision of cobalt-60. Returns to Canada would be minimal. An alternative radioisotope, caesium-137, is being promoted by the United States Department of Energy for use in food irradiation, but it is unlikely that this waste by-product of the nuclear weapons industry will find much acceptance.

Lastly, low intensity linear accelerators used to process plastic films and rubber products are presently manufactured by companies in the United States and Europe. These firms are working to produce more efficient, higher energy linacs appropriate for treating food. Based on some successful innovations, they have already initiated advertising and marketing campaigns.

Few irradiation facilities are in operation, therefore little practical information exists for companies to evaluate the cost effectiveness of using ionizing energy to treat their specific products as compared to competing chemical treatments and alternative processes. Also, although companies and governments in the tropics are very interested in buying a Canadian facility, many require Canadian government aid to pay for an economic feasibility evaluation before making the investment.

The major question facing all those interested in the use of food irradiation is, will the consumer accept it? Chilean fruit exporters want confirmation that North Americans will buy their produce when it has been irradiated for quarantine purposes using a Canadian facility. The Canadian chicken processor wants assurance consumers will pay for chicken irradiated to remove disease-causing microorganisms. First, the public needs an enhanced knowledge of food irradiation and then market trials of labelled treated food are necessary to test consumer acceptance.

CHAPTER TWO. HOW FOOD IS PROCESSED BY IONIZING ENERGY

What Ionizing Energy Does

Food is routinely processed using different wavelengths of radiant or electromagnetic energy. These include infrared waves used in traditional baking and broiling, microwaves used for quick cooking, and sunlight used for drying.

They are part of the electromagnetic energy spectrum which ranges from the low-intensity broad waves of radio at one end to the very short high intensity wavelengths of x-rays and gamma rays at the other (Figure I). The latter are used for food irradiation processing.

Gamma rays, x-rays, and accelerated electrons are known as ionizing radiations since as they pass through food they interact with the molecules to form positively and negatively charged ions. These unstable particles decompose rapidly into highly reactive free radicals, which in turn react with each other and unchanged molecules. The stable chemical compounds produced are called radiolytic products.[3] The effect of these reactions in the molecules of plant material brings about effects such as the inhibition of sprouting and the retardation of ripening. Large molecules such as deoxyribonucleic acid (DNA) are particularly susceptible to being broken into smaller molecules. This damage to the DNA prevents living cells from dividing, thus causing the sterility or death of contaminating organisms such as parasites, insects, larvae, bacteria, mould spores, and viruses.[4] The more simple the organism, the higher is the radiation dose needed to kill it.[5]

Ionizing energy that passes through food creates biochemical changes but leaves no residual radioactivity. Just as radiotherapy does not make cancer patients radioactive, irradiation does not make food radioactive. This is because the energy levels used are too low to induce nuclear fission.

Types of Irradiation Equipment

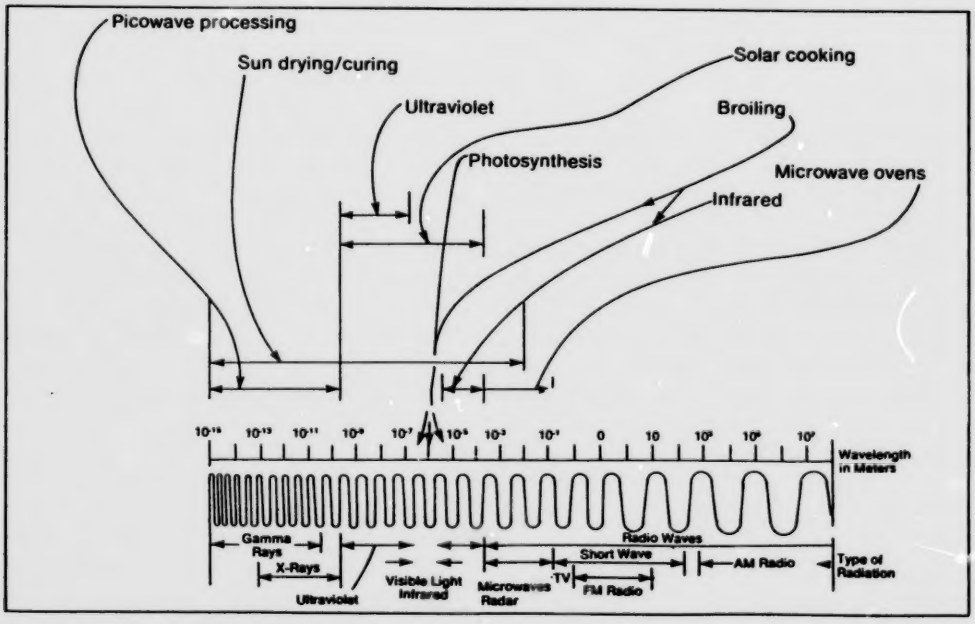
Two types of technology can be used to produce ionizing emergy: radioisotopes (either cobalt-60 or caesium-137) or electrical machine systems (electron linear accelerators or "linacs" and x-ray machines).[6]

Whereas radioisotopes continuously emit high-energy gamma rays or photons in a 360-degree arc, linear accelerators produce unidirectional beams of charged particles or electron beams, and high-powered x-ray machines produce a beam of photons. The high capital and running costs of x-ray machines make them impractical for food irradiation.

Gamma rays have more energy than electron beams and hence have a greater capacity to penetrate dense objects. Their greater depth and uniformity of penetration can accommodate the widest variety of product forms and densities. Gamma irradiation is the only irradiation technology capable of processing bulky products such as cases of fruits and vegetables or animal carcasses. Where the product is thin or not very dense, treatment by high-powered linear accelerators may be a competitive choice.

An advantage of machine systems over radioisotopic sources is that they are more adaptable to high-speed, in-line processing than isotopic sources. In addition they can be turned off and on at will. They do not emit radiation when the power is off. On the

Figure I. Food Irradiation with Electromagnetic Energy



Although the term "radiation" is very broad and includes such things as light and radio waves, it is most often used to mean "ionizing" radiation, which is radiation that can produce charged particles in materials that it strikes.

Source: Food Engineering, April 1982.

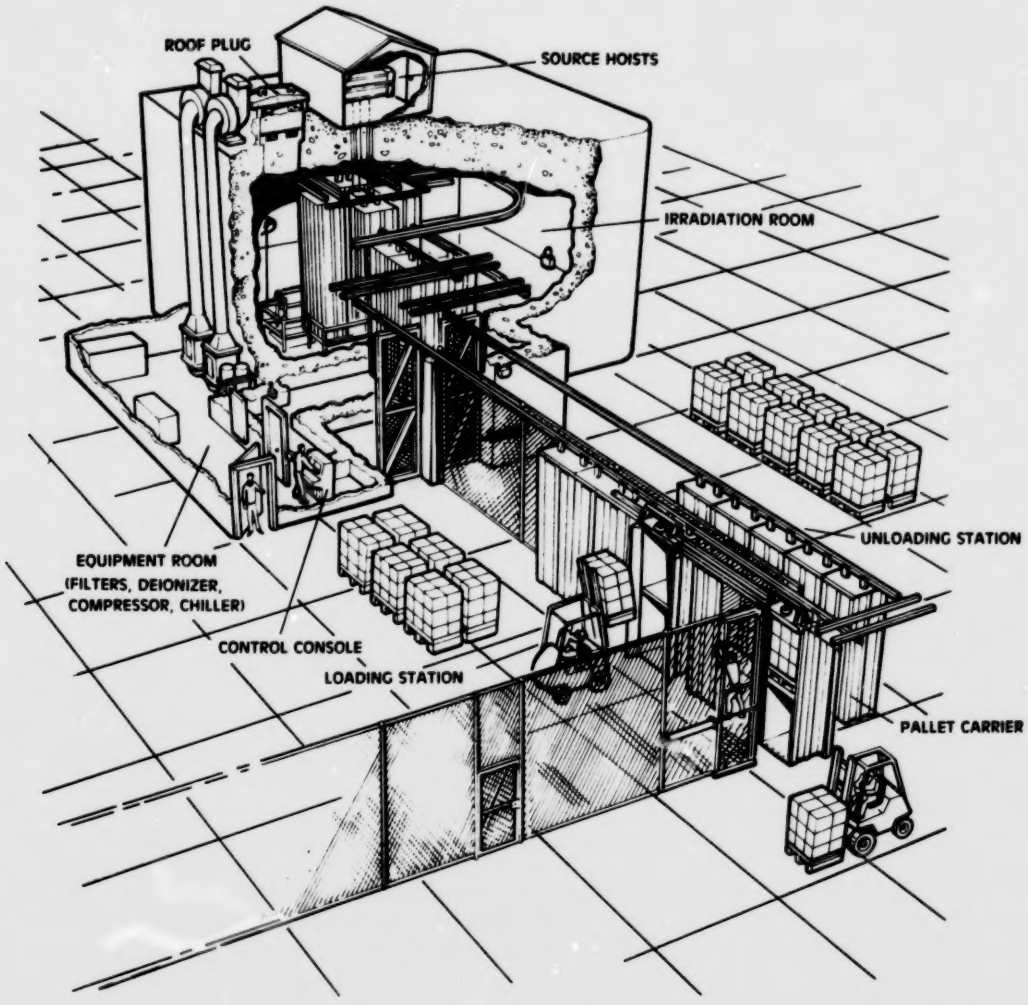
other hand, linacs draw heavily on electrical power, so where electricity is expensive or not available, radioisotopes may provide cheaper processing power.

Radioisotopes and Canadian Gamma Irradiator Technology

Of the two isotopes, cobalt-60 and caesium-137, used for gamma processing, the former is much preferred. The United States Department of Energy reprocesses nuclear weapons' production waste to produce caesium-137 and this has led to some negative public reaction. For this reason and since it presents some safety problems in production and use, caesium-137 is not widely used as an industrial irradiation source.[7]

Cobalt-60, on the other hand, is not a nuclear waste by-product. It is produced for commercial purposes (to sterilize waste products, medical supplies, pharmaceuticals, and for cancer therapy) through an intentional design aspect of a particular type of reactor best represented by Canada's Candu. One of the ways to slow and control the

Figure II. Pallet Irradiator - Automatic



Source: Atomic Energy of Canada Limited Radiochemical Company.

reaction in a Candu reactor is to place cylinders containing cobalt-59 in a ring around the nuclear core. The cobalt-59 absorbs some of the neutrons produced by the nuclear reaction and thus acts as a brake on the reaction process. Within two years all the cobalt-59 is transformed into the radioisotope cobalt-60. The isotope is then removed from the reactor and replaced by more cobalt-59. The cobalt-60 is processed into slugs, doubly encapsulated with steel into pencil-sized cylinders, and formed into racks for use as the radiant energy source in irradiation processing. As the cobalt-60 degrades, emitting gamma rays, it becomes stable nickel.

The Canadian crown corporation Atomic Energy of Canada Limited, is recognized around the world for its research and development in industrial and medical uses of nuclear technology. Its subsidiary, AECL-RCC, produces and sells 80 per cent of the world's cobalt-60. In the last 20 years, it has developed and sold a winning technology -- gamma irradiators to sterilize biomedical products (such as bandages, catheters, and surgeons' gloves). This process has now become a desirable alternative to chemical sterilization with the banned fumigant ethylene oxide. Certain facility design adaptations have been made to ensure the low doses needed for food treatments and to accommodate new handling requirements due to the fragility of food products. Because of the strength of its reputation and the quality of its equipment and designs, and because it is a major supplier of cobalt-60, AECL-RCC has the capacity to play a leading role in the supply of gamma irradiation technology for food processing around the world.

AECL-RCC offers many types of irradiators including laboratory units, small research facilities, various manually loaded and automatic carrier designs, and also a portable facility mounted on a flatbed trailor. An example is the AECL-RCC automatic irradiation facility, which has three basic parts (Figure II):

- a processing chamber surrounded by a thick concrete wall to absorb superfluous radiant energy. The chamber contains a pool of deionized water in which the cobalt-60 is stored when not in use;
- a mechanical conveyor system to carry food from the warehouse through the chamber and around the source;
- a suspended modular source rack made up of cylinders of doubly encapsulated slugs of radioactive cobalt-60. This is the gamma ray source.

With this particular design pre-packaged or bulk products are put into tote boxes and mechanically transported into the irradiation chamber. The cobalt-60 is then raised from the storage pool to irradiate the boxed product as it is mechanically conveyed around the source. When processing is complete, the source is lowered into the pool and the tote boxes are automatically transported out of the irradiation chamber for unloading. The processing chamber has a safety system that locks the doors and lowers the source into the pool in the case of problems. The procedure is directed from a computer control console in the warehouse section.

Electron Accelerator Technology -- Linacs

Electron or linear accelerators (linacs) consist of an electrical power supply, a control and safety console, electron accelerator, and a beam deflection and dispersion system. As in a cathode ray tube, the electron beam is generated by an electron emitter and accelerated in a vacuum to the desired energy. Processing is carried out by moving the product through the electron beam on a conveyor belt at a controlled rate to achieve the desired dose. This equipment is housed in a concrete radiation shielding room and includes a safety system to shut down the beam if someone enters the chamber.

Accelerators produce electrons with selectable energy and power and can be subdivided into low energy and high energy electron sources. Electrons, being charged particles, readily interact with matter. This gives them a low penetration capability, which decreases with the density of the target commodity. The penetration capability of low-energy electron beam accelerators varies from approximately 2 centimetres for meats to 40 centimetres for herbs, but may be doubled by pairing machines for two-sided treatment.

The limited penetration factor of low intensity electron beam accelerators limits the type of product that can be treated by them. At present low intensity electron sources are primarily used to bond plastic coatings, vulcanize rubber, and sterilize containers. The growth in the market for the radiation sterilization of medical disposables and the potential of food irradiation are stimulating the development of more powerful and higher energy linacs. These machines, although still not capable of the total penetration of bulk foods as provided by gamma ray sources, will be competitive for processing small commodities and packaged formulated foods. For instance this technology would be appropriate to treat berries, mushrooms, fish fillets, wieners, and processed meats. In addition, high volume, particulate foods such as grain or herbs would be moved through a "curtain" of electrons produced by a couple of machines with intersecting beams. AECL and at least one other Canadian company, Accelerator Associates, are working to develop and manufacture this technology.

X-ray ("Bremsstrahlung") Machine Technology

If a linear accelerator is modified to direct its electron beam at a metal target called a bremsstrahlung converter, x-rays are generated. These x-rays can achieve high penetration similar to gamma radiation. Work is proceeding to develop these machines but this technology does not appear to be practical for commercial food irradiation since x-ray machines will be both expensive and very inefficient. However, design innovations may make this technology economically feasible in the future for treating large volumes of high value high density products.

CHAPTER THREE. USES OF FOOD IRRADIATION

Dose Ranges

Three dose ranges have been established for different treatment effects as shown in Table I. Most uses of ionizing energy on food, except for sterilization, require low to medium doses or less than 10 kilograys. Food treated with low or medium doses must still be refrigerated.

The lowest dose range, between 0.01 and 1 kilogray, produces "radurization." At this minimal level, irradiation inhibits sprouting in root crops and retards the ripening of fruits. It also acts as a pesticide by sterilizing insects and killing their eggs and larvae.

The medium dose range, between 1 and 7 kilograys, produces radiation pasteurization or "radicidation." This level of treatment reduces the number of spoilage and disease-causing organisms. The process is thus useful for extending the shelf life of some foods and reducing diseases carried by others.

The highest dose range, usually above 10 kilograys, produces radiation sterilization or "radappertization." It is applied to hermetically sealed foods to reduce the quantity of live microorganisms to levels at which the product can be stored without refrigeration for many months. The technique can be likened to the thermal sterilization of canned foods. It is not now being considered for broad commercial use because the dose used is higher than the currently recommended international standard, although this may change as further research is carried out.

Treatment Effects

Fumigant Replacement

A major application of food irradiation is to replace banned fumigants used to meet quarantine requirements. Because insect pests can cause major harvest losses, controls have been legislated around the world to prevent their migration. Stringent quarantine requirements call for the elimination of insects in fruits, vegetables, herbs, and spices that are marketed internationally. In addition, most countries have strict hygiene requirements for seasonings, spices, and herbs which are normally highly contaminated with microbes.

To date the main process used to control microbes and pests in fresh and dried products has been fumigation with toxic gases. The primary chemical used for fumigation has been ethylene dibromide (EDB). This suspected carcinogen is dangerous to workers applying it and may present a risk to consumers, since a residue is left on treated foods. The environmental effect of this pesticide is also hazardous. Concern about EDB led the United States Environmental Protection Agency (EPA) to order the emergency suspension of EDB as a soil fumigant in September 1984. At the same time the EPA announced that all other major uses of EDB would be phased out by September 1985. For the moment, methyl bromide, a sister chemical to EDB, is still acceptable but may soon be on the "prohibited due to its toxicity" list. Many other countries, including Canada, have enacted similar legislation.

As a result, nations whose major source of foreign earnings is the export of spices, herbs, and fresh produce, have been anxiously seeking a suitable alternative to

Table I. Dose Applications for Food Irradiation

	Treatment Effect	Dose (kilograys)
	(Low-Dose Applications)	
a)	Inhibits sprouting of potatoes, onions, etc.	0.05-0.15
b)	Sterilizes infesting insects to prevent adult emergence or propagation.	0.10-0.25
c)	Destroys infesting insects including eggs and larvae.	0.25-0.75
d)	Destroys parasites (helminths, nematodes including trichinella spiralis).	0.25-0.50
e)	Delays ripening of certain fruits and vegetables.	0.25-1.0
f)	Reduces levels of common harmless spoilage bacteria in and on fresh meat, poultry, and seafood.	0.50-1.0
	(Intermediate-Dose Applications)	
a)	Reduces spoilage bacteria and fungi on "fresh" meat, poultry, seafood, and produce (e.g., berries).	1-3
b)	Reduces mould on baked goods.	2-4
c)	Delays cap-opening and spoilage of mushrooms.	2-4
d)	Destroys substantial pathogenic bacteria (e.g., salmonella) in perishable animal products (e.g., milk and egg powders), and frozen foods (e.g., froglegs, shrimp, egg).	3-7
e)	Sterilizes packaging material, spices, etc.	3-7
	(High-Dose Applications)	
a)	Improves rehydration of dehydrated vegetables etc.	10-60
b)	Sterilizes precooked and processed 'low-acid' meat, poultry, and seafood products in hermetically sealed packages.	10-50
c)	Reduces or eliminates virus contamination.	10-100

Source: A. Herer, "Industrial Economics of Irradiation," McGill University, unpublished MBA thesis, pp. 102 and 103. Table reprinted courtesy of the author.

fumigation, one that preferably does not use heat. The application of heat to spices and herbs removes their characteristic flavour, and hot water dips used to disinfest fruits such as mangoes or papayas destroy their quality. Because food irradiation can be called a "cold" treatment; because it can kill microbial contaminants; and because it can sterilize or kill adult insects as well as larvae and eggs; it is an alternative process of considerable interest. The use of ionizing energy instead of toxic gases for quarantine purposes would reduce the level of chemical residues presently found on all tropical produce, herbs, spices, and seasonings imported into Canada.

Pathogen Reduction in Meat and Poultry

The second major application for food irradiation, and one potentially important for Canada, is to reduce food-borne diseases carried by meat, fish, and poultry products. The main diseases are salmonellosis and campylobacteriosis, but others such as shigellosis, trichinosis, tapeworm infestation, and toxoplasmosis are also of concern to health officials.

Diseases produced by eating infected food have always been endemic in developing nations. Now their incidence is increasing in developed countries. U.S. public health officials report that over the last 16 years the incidence of salmonellosis has doubled to about 40 000 cases annually.[8] In Canada the annual number of cases of salmonellosis more than doubled from 4280 in 1970 to 8704 in 1979.[9] It is estimated that these figures represent only about 3 per cent of the cases that actually occur. In addition to increasing health care costs, diseases caused by pathogens such as salmonella and campylobacter incur other costs such as those resulting from lost work hours and the dumping of suspect foods. The annual cost of all food-borne disease in Canada has been estimated at between $40 million and $160 million.[10]

The consumption of food contaminated by salmonella or campylobacter produces mild to severe cases of gastroenteric infection. Particularly serious cases require treatment in hospital and may, in children and the elderly, result in death. A scientist at the Health Protection Branch of Health and Welfare Canada recently estimated that there are in the range of 763 deaths per year in Canada due to salmonellosis.[11]

The Food Inspection Directorate of Agriculture Canada has decided to make the reduction of salmonella a priority. Although pork and beef also carry pathogenic bacteria, efforts to control contamination have focused mainly on poultry and poultry products, in which the incidence of contamination is highest. It is difficult to identify which sector of the industry should receive most attention since contamination occurs at many points in the production and retailing chain. Good hygiene in processing plants alone cannot eliminate all pathogens from fresh poultry and red meat.

Irradiating livestock feed would help reduce the levels of pathogens in meats and poultry since contaminated animal feed is one source of salmonella infection. However, the surest way to remove microorganisms from flesh and ensure a hygienic finished product would be to use radicidation or medium-dose irradiation after packaging. But good handling and cooking practices would still need to be rigorously observed by retailers, restaurateurs, and consumers. Once packages are broken open, food risks re-contamination from infected utensils and cutting boards.

Shelf Life Extension

Irradiation can extend the shelf life of "fresh" products in a number of ways. For example, it can preserve some fruits, vegetables, meats, and fish by reducing the number of spoilage organisms (bacteria, mould spores, and fungi) they contain. Low dosage irradiation can also take the place of chemicals used to inhibit the sprouting and consequent deterioration of tubers and bulbs (for example, potatoes, yams, and onions). Finally, the process can retard the post-harvest ripening of many fruits such as sweet cherries, apricots, strawberries, figs, mangoes, bananas, and papayas.

The use of irradiation to extend shelf life has a number of potential benefits. First, it would extend the sales period and the post-harvest processing season. Manufacturers would save by not having to run overtime to freeze, can, or pickle perishable seasonal foodstuffs. This advantage is already being realized in Japan in the case of potatoes, which can be held longer before processing into chips and other products.

Consumers would benefit from greater price stability and availability of many commodities including new exotic fruits and vegetables throughout the year. Perishable foods such as strawberries or mushrooms would have a lengthened home-keeping-period. Those fruits whose ripening process is slowed by low level irradiation would have a better taste and texture since they could be picked closer to the ripe state. Nitrites, suspect carcinogens presently used in the curing and preservation of meats, could be reduced or eliminated.

Shelf life extension would enable products that would otherwise quickly spoil (such as fruits) to be transported by less expensive means, such as by ship rather than air. In addition, some products could be sent "fresh" to more distant markets and command higher prices than when processed conventionally. For instance, fish brings a higher price when fresh than it does when frozen. Extending the shelf life of Canadian fish by three days would enable it to be shipped to large inland markets in both the United States and in Canada.

Shelf life extension would also mean that processors could increase delivery volumes to wholesalers and retailers while decreasing the frequency of deliveries. Wholesalers and retailers could store products longer and lose less to spoilage.

Manufacturing Advantages

Irradiation results in certain manufacturing advantages. For instance, grapes yield more juice, wheat gives a greater loaf volume, barley yields more during malting, dehydrated vegetables and fruits rehydrate more quickly, dried beans take less time to cook, and some meats become more tender.[12] These results may appeal to the food processing industry, but adoption of irradiation for these purposes will depend on its costs and benefits relative to conventional methods.

Treatment Limitations

Different food and, in the case of plant materials, even different cultivars, will respond with varying sensitivity to irradiation. Changes in flavour, odour, texture, and colour can occur when the dose is too high for the particular food.

Radiation damage in fruits and vegetables can cause uneven ripening, spots on the skin, and increase rotting. Avocados, cucumbers, lemons, limes, olives, and bell peppers

have been found by the Dole Fresh Fruit Company to show "significant documented irradiation injuries."[13] Protein-rich, water-containing products are particularly sensitive to the development of off-flavours. Dairy products are therefore unlikely candidates for irradiation. In radiation sterilized meats, off-flavours and unpleasant odours are produced, although these can be reduced somewhat by freezing and irradiating in vacuum-packed containers that exclude oxygen. Since irradiation will accentuate any flaws or bruising, food products must be irradiated shortly after harvest or slaughter and before the microbial load is too large.[14] Irradiation also shortens the molecules of pectin substances so that they lose their gelling power, and a high dose can cause foods with a high sucrose content to have a scorched caramel taste. Although irradiation can reduce or eliminate the initial microbial population, it leaves no residues to fight recontamination from improper handling. Reinfection and reinfestation can occur unless proper storage, refrigeration, and packaging practices are observed. Many foods are pre-packaged before treatment.

CHAPTER FOUR. SAFETY AND NUTRITION

The history of food irradiation is rife with controversy, conflicting views, and adversarial politics. Although a 40-year investment of expertise, time, and money has gone into research to clear this technology for commercial use, opinions still differ as to its safety.

The question of safety can be broken down into questions about the safety of the technology itself and those about the safety of food that has been irradiated. Opinions on the acceptability of food irradiation technology may, in some cases, be coloured by beliefs that any technology related to the nuclear industry is inherently unsafe.

The Irradiation Equipment

Because irradiation is a potentially hazardous technology, government nuclear regulatory agencies, such as the Canadian Atomic Energy Control Board (AECB), have adopted stringent rules, regulations, and inspection systems.

In Canada, the production, transport, use, and recuperation of radioactive materials are governed under the authority of the Atomic Energy Control Act. At present AECB provides guidelines to any organization intending to build a gamma irradiation facility. After inspection to verify whether all regulations have been met, AECB will issue an operator's license. Twice yearly inspection of records, dose rates, and all safety features, including warning lights, door-locking systems, and smoke and fire detectors, are carried out to ensure continued regulatory compliance. The AECB also requires that employees of gamma irradiation facilities successfully complete a specially approved training course.

In April 1986, AECB issued a consultative document for public comment on new more specific and more comprehensive regulations. The modified rules, which will probably take effect in late 1988, will require a three-stage licensing program for the commissioning of a gamma irradiation facility: a site license, to include provision for public consultation; a construction license, to include verification of drawings and safety provisions; and an operating license, to include descriptions of personnel qualifications and dosimetry services and so on.

In the case of electron accelerators and x-ray machines, concerns regarding safety arise only when the machine is turned on. Operator safety is ensured by means of thick concrete shield walls and safety lock systems to prevent entry into the irradiation room while the machine is functioning. Since neither linacs nor x-ray machines are radioactive devices, licensing, occupational and environmental regulations, and inspection fall under the authority of provincial governments.

For transportation purposes, the isotopic source, already doubly sealed into steel pencils, is carried in reinforced steel and lead casks designed to withstand the most severe accidents, including collisions, punctures, and exposure to fire and water. AECL guarantees to remove all cobalt-60 at the end of its useful life at the request of the buyer. When recuperated the cobalt-60 is disposed of at AECL facilities, where it is stored until it decays into stable nickel.

The risk to workers in irradiation plants has been minimized through requirements for extensive and overlapping protection controls in the facility and for specialized

operator training courses. The only way in which human beings can be harmed in a gamma irradiation facility once the source is in place is by direct exposure to irradiation in the irradiation chamber. There is no danger of this when the source of irradiation is not in use because it lies behind a six-foot-thick cement wall or in a storage pool. Because there is a danger of exposure while the source is raised for operation, all gamma irradiation facilities have elaborate mechanisms to prevent entry into the irradiation chamber.

Food Treated With Ionizing Radiation

When the public asks whether a new substance or technology is safe, it wants yes or no answers. But safety is not an absolute; it is a relative and continuous variable. Questions about safety can only be answered in terms of the risk potential of a process or substance. Even then, scientists may frequently express conflicting views about the nature and level of risks. They may also disagree about the validity of methodologies of risk assessment. Uncertainty itself is part of the tissue of science and an aim of every scientific discipline is to seek out and identify points of uncertainty for further investigation. It is this lack of absolute certainty that has helped to fuel public debate about the acceptability of food irradiation. It is the public that must choose between relative risks posed by different techniques. And ultimately the public must decide the level of risk acceptable.

Opponents of food irradiation on grounds of safety and nutrition are concerned that authorities and industry do not have enough information to know whether the treated food is safe or nutritious. They say that the irradiation of food will leave potentially hazardous by-products and decrease its nutritional value.

Advocates of the process counter that irradiation has been rigorously tested and evaluated for 40 years, more so than any other food process, such as canning or freezing. They state that research shows that food so treated is wholesome: not only safe but also nutritious.

Research

The idea of treating food with ionizing energy is not new. In fact, concern over trichinosis led the United States Department of Agriculture to take out a patent in 1921 on food irradiation using X-rays to kill the trichina worms in pork. In France in 1930 the researcher Otto Wust filed the first comprehensive patent for treating food with ionizing energy. Some food companies in the United States began research projects on food irradiation in the 1930s but the cost of radioisotopes and the inefficiency of the then available accelerators made general applications impractical.[15]

World War II provided the impetus for more intensive research on food irradiation. In 1942, at the request of the U.S. army, the Massachusetts Institute of Technology began testing the use of ionizing energy to improve military rations. Following 1945, the building of nuclear reactors, such as Atomic Energy of Canada's Chalk River facility, made radioisotopes cheaper and more available. Klystron tubes, developed as part of the British invention of radar, were borrowed to form the centrepiece of more capable electron accelerators.[16] As a result, in the 1950s and 1960s basic scientific research and live-animal testing of treated foods intensified in many countries including Britain, France, Canada, and the United States. Under the "Atoms for Peace" policy in 1955, the U.S. army began a 10-year "wholesomeness study" of food treated at

sterilization doses. In the United States, some 90 university, government, and private sector groups were involved in this research by the end of the 1950s.[17]

But in 1958 the United States Food and Drug Directorate made a critical amendment to the Food, Drug and Cosmetics Act. This was called the Food Additives Amendment or the Delaney clause and it required new toxicological test procedures to prove the acceptability of additives in foods. Since under the amendment ionizing energy was to be classified for regulatory purposes as a food additive, whole foods processed by this method would have to undergo stringent live-animal safety testing. The implications of this ruling for research on and the safety clearance of irradiated foods was significant.

Irradiation was soon classified as an additive in many other countries, including Canada. To fulfil the new regulations multidisciplinary teams of scientists analysed the effects of different doses of radiation on different food products and worked through decade-long studies to evaluate nutritional and safety questions.

In 1971, under the joint sponsorship of the United Nations Food and Agriculture Organization (FAO), the International Atomic Energy Agency (IAEA), and the Organization for Economic Cooperation and Development's (OECD) Nuclear Energy Agency, approximately 24 countries came together to coordinate food irradiation studies. Directed from the Federal Centre for Nutrition at Karlsruhe, Germany, this International Project in the Field of Food Irradiation (IPFFI) coordinated research on ionizing radiation at doses up to, but not including, sterilization levels. Complementary work at higher doses was carried out in long-term studies at the U.S. army's Natick laboratories.

The goal of the research projects (which covered all aspects of nutrition and toxicology) carried out around the world between 1970 and 1981 by IPFFI was to develop international standards for the United Nations' Codex Alimentarius Commission. Founded in the early 1960s, the Codex Alimentarius Commission now includes 122 member countries. It incorporates committees that set international standards and codes of practice for all aspects of food. In 1964 the Codex committee on food additives established an advisory Joint Expert Committee on Food Irradiation (JECFI). JECFI is composed of international scientists specializing in toxicology, pathology, public health, microbiology, and nutrition. It meets approximately every four years to conduct peer reviews of new research on food irradiation. At its 1976 and 1980 meetings JECFI analysed work sponsored by IPFFI and other world agencies and recommended new Codex standards in this field. In July 1983 the Codex Alimentarius Commission adopted a recommended International General Irradiated Foods Standard and Code of Practices. This ruling formally reclassified food irradiation as a process and not an additive and stated that:

> The irradiation of any food commodity up to an overall dose of 10 kGy represents no toxicological hazard and introduces no special nutritional or microbiological problems, hence toxicological testing of foods so treated is no longer required.[18]

Toxicology

The regulatory changes that occurred around the world in the late 1950s were enacted because officials wanted a clearer idea of the effects of the food irradiation process.

Authorities had to decide what test procedures would be appropriate to establish some reasonable certainty that no harm would arise from irradiating food. Initially they required that the same toxicological methods as used to test the effects of additives -- discrete chemical substances -- should be applied to test the effects of ionizing energy, a process. It is true that both irradiation and the use of additives bring about the appearance of new chemical substances in food. But in all food processing methods molecules are rearranged and new, possibly toxic, compounds are formed. In thermal processes (such as cooking, curing, and freezing) these compounds are called thermolytic products; in irradiation, they are called radiolytic products. Since "approximately 6 out of 10 million chemical bonds present in food are broken per kilogray of ionizing energy absorbed,"[19] these compounds are only found in foods in concentrations of parts per million.

The standard means of evaluating the toxicity of a new food additive is by feeding a high concentration of the chemicals to test animals to verify the maximum dose possible that is free of toxic effects. In early studies on irradiated food the entire food was treated as a chemical additive and fed to animals in huge amounts. As a result test animals received such unbalanced diets that it was difficult to discriminate between the possible toxic effects of irradiation and the effects of nutritional distortion.

More recently the emphasis for safety evaluation is shifting away from dependence on animal feeding experiments towards identifying and testing radiolytic products. Over the last 10 years scientists have concentrated on learning about the nature and predictability of individual radiolytic products and attempted to evaluate their toxicological safety. They have also focused on the response of animals where the whole diet has been irradiated.

By comparing radiolytic products to thermolytic products they have found that the same kinds of products result from irradiation as from conventional processing. A British task force set up to evaluate food irradiation concluded that, "there are no toxicologically significant qualitative differences between the radiolytic products...and the products in conventionally processed foods, and that the chemical changes produced by irradiation of food are usually less than the changes found in foods processed by conventional methods whose safety is accepted."[20] "Most radiolytic products are normal food constituents: fatty acids from breakdown of triglycerides or amino acids from proteins, for example."[21] The lack of knowledge of classical chemistry of foods and the lack of baseline data complicate the identification and evaluation of radiolytic products.

As a result of this insufficiency of knowledge a committee of the United States Food and Drug Administration "assumed that some radiolytic products may be unique to irradiated foods, and created the term 'unique radiolytic products' (URPs) to mean substances not known to be present in nonirradiated food."[22] Thus although our knowledge of chemical changes in irradiated food is more extensive than of those incurred by conventional methods of food processing "it is not possible to exclude the hypothetical possibility that unique and potentially toxic substances (URPs) might be formed in certain irradiated foods."[23] But to date "no compounds that are unique to food processed with ionizing energy have been found in 30 years of research."[24] Scientists with years of research experience in food irradiation report that they have sought for years for a possible unique aspect to processing food by irradiation and have never been able to find it.[25]

Feeding Studies

There is a long history of multigenerational animal research to test the toxicity of food irradiation. Many of the early studies were so badly designed and controlled that the data were worthless for demonstrating anything. The British Advisory Committee on Irradiated and Novel Foods commented in its report in April 1986:

> In the few studies where differences had been noted between animals fed irradiated food and the control animals which received non-irradiated food, no consistent pattern emerged with respect to the type of abnormality seen, the duration of feeding, the type of food used in the study, the amount of irradiated food in the diet and the dose of radiation used.[26]

Supporters of food irradiation claim that many of the controversial studies were thoroughly evaluated and found to be flawed and therefore inconclusive. Opponents accuse supporters of the technology of trying to suppress as inaccurate any work that raises suspicions about the safety of irradiated food.

Debate still rages over the meaning of certain studies suggesting that irradiated foods may cause chronic reproductive and mutagenic effects. These studies have undergone intensive evaluation by multidisciplinary teams in many countries. Peer review of these experiments and futile attempts to replicate the adverse findings have led the scientific community to reject their validity.

One of the better known issues highlighted in the public controversy is the finding by two Russian studies[27] that kidneys and testes were damaged in rats fed irradiated feed. A refutation of this finding was published in the United States Food and Drug Administration Federal Register of 18 April 1986.

> FDA has found information on critical details of the experimental design of the studies is either incomplete or missing. The reproductions of photomicrographs are unusable, and the numerical data are incomplete across dosage groups. ...FDA reviewed the kidney data in 11 chronic studies in which rats were fed various diets...irradiated...to see if it would be possible to confirm the findings....The agency found no evidence of treatment-related kidney changes as reported in the Russian studies...FDA also reviewed 11 studies to verify the testicular lesions...and none of the studies reviewed revealed treatment-related testicular changes similar to those reported in the Russian reports.(p. 13386,87)

In another instance several studies carried out by the National Institute of Nutrition (NIN) in Hyderabad India claimed that abnormal white blood cells (polyploidy) were found in children and animals fed irradiated wheat.[28] FDA reports:

> A committee of Indian scientists critically examined the techniques, the appropriateness of experimental design, the data collected and the interpretations of NIN scientists...this committee concluded that the bulk of these data are not only mutually contradictory, but are also at variance with well-established facts of biology.

The committee concluded that the data failed to demonstrate any mutagenic potential in irradiated wheat.

In May 1976 a major project to evaluate the safety of irradiated chicken meat was contracted to Raltech Scientific Services by the United States Army Medical Department. The supervision of this research was taken over by the United States Department of Agriculture in 1982, and by its completion in 1984 at a cost of $8 million, consisted of about 35 000 pages of reports.[29] In passing these findings to the United States Food and Drug Administration, the Department of Agriculture pointed out that in one study on mice there was evidence of reduced survival of females and also an increase in incidence of benign slow-growing testicular tumors in males.

The data from these studies were independently reviewed by the FDA's Center for Food Safety and Applied Nutrition and seven reasons were given as to why evaluators decided that the radiation sterilized chicken did not cause the tumors. A peer review by the United States National Toxicology Program agreed with the Food and Drug Administration findings.[30] In 1986 the Health Protection Branch of the Canadian Ministry of Health and Welfare reviewed the data and the pathology slides from the Raltech study and also came to the conclusion that the chicken did not cause the tumors.

Nutrition

There has been some concern that irradiated foods may lose nutritional value. As with other food processing techniques, irradiation can alter the nutrient composition of food. The nature of these changes depends on the radiation dose, the temperature of processing, the composition of the food, and the presence or absence of oxygen.[31]

In the low dose range (up to 1 kGy), most studies evaluated by JECFI show that nutrient losses are insignificant. In the medium dose range (1-10 kGy), research shows that losses of some vitamins may occur. In the sterilization dose range (10-50 kGy), the technology used to avoid effects on organoleptic quality (sensory factors), for instance irradiation at low temperatures without oxygen, also partially protects nutrients.

Data shows that the major nutritional components of foods -- proteins, carbohydrates, and fats -- are little affected by irradiation up to an average dose of 10 kGy. Some molecules may be broken down into their constituent chemical entities.

Vitamins can show different degrees of susceptibility to radiation damage in different foods, because they may be protected by some of the other constituents present. In general riboflavin, niacin, and vitamin D are relatively stable. But vitamins C, A, and E and vitamin B fractions such as pyridoxine and thiamine are more prone to degradation, particularly at high radiation doses and when oxygen is present. Some of this damage to vitamins can be reduced if the food is irradiated at a low temperature, using the lowest average dose needed, and in packaging that excludes oxygen and light. The losses incurred are generally less than, or at most comparable to, those produced by other accepted methods of food processing, say blanching and freezing.[32]

But there is some concern about incremental nutrient losses due to the combined effects of irradiation and conventional processing. If, for instance, food is both irradiated and canned, losses are greater than with canning alone. In addition, because many irradiated products will later be cooked, these losses will also be incremental.

Microbes: Mutants and Survivors

One of the objections to food irradiation is that like most thermal and chemical processes it will produce new and possibly harmful microbial mutants. But research has shown that irradiation destroys genes, and so the mutant microbes are not competitive and are less able to survive than their normal cousins in the environment.

Another problem has been raised regarding the selective elimination of organisms when substerilizing doses are applied to foods. Destruction of the bacteria that cause obvious spoilage by changing a food's smell, colour, or texture would remove those qualities that alert consumers to the possible presence of a much more toxic organism -- Clostridium botulinum. Without competition, this organism, which causes botulism, could proliferate. Thus, as in any other food process, packaging methods, careful handling by processors, retailers and consumers, inspection procedures, expiry date labels, and good manufacturing practices will all be necessary. For example, fresh fish irradiated above 1 kGy must be kept refrigerated below 38°F (3.3°C) and processed in an oxygen permeable packaging film to prevent development of C. botulinum, since these bacteria can only live in an anaerobic environment.[33]

CHAPTER FIVE. INTERNATIONAL COMMERCIAL USE

The commercial application of food irradiation confronts a number of obstacles. Although some countries have approved the use of irradiation processing for a few food products, worldwide commercial use of the process is hampered by the discordant policy approaches of different countries and by the lack of international legislation governing acceptable dosage levels, labelling protocols, and inspection criteria. When only a few products may legally be irradiated and exported, the volumes that require processing are often too small to make an irradiation facility economic year-round. The availability of cheap conventional alternatives and fears of adverse consumer reaction act as further barriers to commercialization of the process.

Since 1983, when the Codex Alimentarius Commission recognized the safety and viability of food irradiation, countries around the world have gradually brought their regulations in line with the recommended standards and have cleared many foods for irradiation. But the existence of product clearances does not mean that the process is being widely used commercially. Whereas some 30 countries allow irradiation of certain foods for human and animal consumption, the process is commercially applied to food sold to the public in only about 10 of these countries (Tables II and III).

Extent of Current Use

In the Netherlands, Norway, France, Belgium, and, to a limited extent, in the United States, irradiation is used commercially mainly to decontaminate high-value dried foods, seasonings, and spices. None of these countries labels these irradiated products, which are used as minor ingredients in other processed foods. A small volume of food is processed to the sterilization level in North America and Europe for hospital patients with reduced immunity, and irradiated food was served on the space shuttle.

The first successful commercial-scale food irradiator (a gamma type) was built in Japan in 1973, as a joint project of the Japanese government and the Shihoro Agricultural Cooperative of Hokkaido. Gamma irradiation is used as a replacement for banned chemicals to prevent sprouting in potatoes. Some 1360 tonnes are treated with ionizing energy per month before further processing. The resulting products carry no labels to tell the consumer that the contents have been irradiated.

The Soviet Union also uses irradiation commercially to treat one food: two electron accelerator facilities of Soviet design disinfest approximately 200 000 tonnes of grain for domestic use per year at the port of Odessa. This is the largest volume of irradiated food processed by any one country.

In contrast, South Africa, the country that processes the greatest variety of food with ionizing energy, commercially irradiates about 10 000 tonnes of food a year for domestic consumption at two gamma irradiation facilities used solely for this purpose. A third facility treats both medical disposables and foods. The products irradiated include mangoes, papayas, bananas, avocados, litchis, tomatoes, strawberries, herbal teas, spices, and vegetable pastes, as well as a variety of meats. Labelling for consumers is voluntary and consists of a symbol only. Use of the symbol brings a better price as a sign of premium quality.

The Netherlands irradiates approximately 6000 tonnes of food a year including frozen sea foods (to destroy pathogens) and herbs and spices (to disinfest and sanitize).

Table II. Commercial Irradiators Available for Treating Food/Feed

Country	Commercial irradiator location	Status	Products treated	Approx. capacity
Belgium	MEDIRIS* Fleurus	completed (1980)	spices, animal feed, frozen seafood	3 000 t/a
Brazil	EMBRARAD* Sao Paulo	completed	spices	---
China	Multipurpose irradiator (180 kCi) Chengdu	completed	---	---
	Multipurpose irradiator (100 kCi) Shanghai	completed	---	---
Israel	Animal feed irradiator (accelerator) Tel Aviv	completed (1984)	animal feed	---
Japan	Shihoro potato irradiator Shihoro, Hokkaido	completed (1973)	potatoes	15 000 t/month
Netherlands	Pilot plant for food irradiation, Wageningen	completed (1968)	shrimp, frog legs organic dyes, spices	1 500 t/a
	GAMMASTER-1* Ede	completed (1972)	spices, frozen frog legs, shrimp	5 000 t/a

(cont'd)

Table II (cont'd). Commercial Irradiators Available for Treating Food/Feed

Country	Commercial irradiator location	Status	Products treated	Approx. capacity
(Netherlands cont'd)	GAMMASTER-2 Multipurpose Ede	completed (1982)	spices, frozen frog legs, shrimp	5 000 t/a
South Africa	Fruit and vegetable irradiator Tzaneen	completed (1982)	mangoes, strawberries potatoes, onions, etc.	7 000 t/a
	Iso-Ster (Pty), Ltd.* Kempton Park	completed (1981)	fruits, vegetables coconut powder	---
	Multi-purpose irradiator Atomic Energy Board, Pretoria	completed	fruits, vegetables chicken, etc.	---
Taiwan	Multipurpose irradiator	completed	---	---
United States	Radiation Technology, Inc.* Rockaway, New Jersey	completed (few irradiators)	spices, seasonings	500 t/a
	Isomedix, Inc.* Whipany, New York	completed (several irradiators)	spices, seasonings	500 t/a

* Mainly used for sterilizing medical supplies.

(cont'd)

Table II (cont'd). Commercial Irradiators Available for Treating Food/Feed

Country	Commercial irradiator location	Status	Products treated	Approx. capacity
(United States cont'd)	International Nutronics* Irvine, California	completed (several irradiators)	spices, seasonings	500 t/a
U.S.S.R.	Grain irradiators (two electron accelerators) Port Odessa	completed (1981)	grain	400 000 t/a

* Mainly used for sterilizing medical supplies.

Table III. Commercial Irradiators Planned for Treating Food/Feed (January 1985)

Country	Commercial irradiator location	Status	Products treated	Approx. capacity
Bangladesh	Multipurpose irradiator (150 kCi) Dhaka	planned for 1985	potatoes, onions, fish	---
China	Multipurpose irradiator (200 kCi) Shanghai	under construction	food in general	---
Ecuador	Electron accelerator Quito	under construction	dried food	---
France	Pallet irradiator (2 million kCi ^{60}Co) Marseilles	planned for 1985	food in general	---
	CGR 10 MeV accelerator	planned for 1986	deboned poultry	---
Hungary	AGROSTER Joint Co. Budapest	planned for 1985	spices, potatoes, onions	---
Iran	Multipurpose irradiator Tehran	planned for 1986	dried food	---

(cont'd)

Table III (cont'd). Commercial Irradiators Planned for Treating Food/Feed (January 1985)

Country	Commercial irradiator location	Status	Products treated	Approx. capacity
Italy	Commercial vegetable irradiator Fucino Cooperative, Fucino	under construction	potatoes, onions, garlic	25 000 t/season
Korea (Republic of)	Multipurpose irradiator Seoul	under construction	food in general	---
Pakistan	Multipurpose irradiator Karachi	planned for 1986	food in general	---
Thailand	Multipurpose irradiator (200 kCi) Bangkok	planned for 1986	food in general	---
United States	International Nutronics Honolulu, Hawaii	planned for 1985	tropical fruit	---

Source: P. Loaharanu, "Asian Regional Cooperative Project on Food Irradiation" in Proceedings of a Symposium on Food Irradiation Processing, Washington, D.C., March 1985 (Vienna: IAEA/FAO, 1985), 180.

Three gamma facilities are used for food processing, two of which treat industrial products as well. The third, a demonstration plant designed for food irradiation, is the home of the International Facility for Food Irradiation Technology (IFFIT), an international project sponsored by the IAEA, the FAO, and the Dutch Ministry of Agriculture and Fisheries. IFFIT provides training courses on food irradiation for representatives of developing countries; conducts pilot studies; carries out specific product research; and, on request, monitors the quality of shipments of irradiated products.

Hungary and Israel use pilot plant facilities to treat a small amount of food that is sold commercially. Several other countries are using or planning to build multipurpose irradiators to process small volumes of food and animal feed (Table III).

Applications in Less Developed Countries

The potential of food irradiation processing to decrease post harvest losses and food borne diseases in foods consumed domestically and also, to treat cash crops before export is being evaluated in many less developed countries.

In tropical countries, spoilage due to moisture and heat and losses due to insects may affect from 10 to 30 per cent of grains produced and 15 to 80 per cent of fruits and vegetables. Ionizing energy may be useful in the fight against such losses. Similarly it may help enhance public health through the reduction of pathogens and parasites in meat, fish, and poultry.

In certain developing countries that rely mostly on local self-sufficiency and that lack an adequate national food system infrastructure, a food irradiation facility could become an expensive anomaly. In such countries food irradiation processing plants can be considered only as part of a national agricultural development program. Appropriate refrigeration, storage, and warehousing must be purchased to prevent recontamination. Adequate transportation networks and collection and distribution centres must be created to ensure that sufficient volumes of food can be hauled to an irradiation facility to make it economically viable. A cadre of irradiation specialists must be trained and regulations enacted. Food irradiation cannot be seen as a magical panacea to increase available food supplies for those who are starving.

Where food irradiation may come into its own is in some newly industrializing nations such as Thailand, Egypt, India, Malaysia, and Chile which already have a sufficient food infrastructure to accommodate a centralized plant or plants. Collection, transportation, and distribution systems are well developed. These countries also have enough of the related irradiation infrastructure (irradiation specialists, research, testing, legislation) for the installation of economically viable commercial irradiators.

For many of these countries the export of fish and agricultural commodities is an important source of foreign currency. Where it is, food irradiation technology is being sought to replace banned fumigants to meet foreign governments' quarantine requirements. In addition, the potential of the technology to reduce spoilage and to inhibit ripening in fresh fruits and vegetables is appealing. These effects would permit export of new, more fragile varieties; would enable cheaper sea rather than air transportation; and, would enlarge export volumes. For instance, Chile hopes to see her

export in horticultural commodities double from 363 000 tonnes in 1986 to 726 000 tonnes in 1990.

Previously most spices, seasonings, and produce imported for consumption in Canada and the United States were fumigated in the ports of Philadelphia and Los Angeles. But new United States Department of Agriculture regulations will require that the majority of quarantine treatments be carried out in the country of origin. At present methyl bromide is used to fumigate these products but producer countries fear that it too will soon be banned due to its toxicity and the residues it leaves on treated foods. This would leave exporters without a means of meeting quarantine requirements. Hence they are very interested in using food irradiation once they are assured that North America and Europe have permitted its use, and that consumers will continue to buy their products following treatment.

Standards and Use in the United States

On 14 February 1984, stimulated by the 1983 Codex Alimentarius Commission recommendations, the United States Food and Drug Administration (FDA) published a proposed new rule entitled "Irradiation in the Production, Processing and Handling of Food." This rule put forward three main propositions:

- Foods irradiated at doses up to 1 kilogray are wholesome and safe for human consumption.
- Foods that make up no more than 0.01 per cent of the daily diet and irradiated at 50 kilograys or less can be safely irradiated without toxicological testing.
- Other foods irradiated at levels above 1 kilogray must undergo a series of short-term mutagenic tests to detect any toxic substances. In addition, these foods must be evaluated in 90-day feeding studies on one rodent and one non-rodent species.

Thus the FDA was contemplating only 1 kilogray as an acceptable maximum in spite of the 10 kilograys recommended by the Codex Alimentarius Commission and proposed by Canada. In April 1986 the FDA passed the final version of the regulations for four particular approvals. The first approval permitted the irradiation of dried enzyme preparations up to 10 kilograys to control insects and microorganisms; the second permitted the irradiation of pork carcasses at between 0.3 and 1 kilogray to control the parasite trichinella spiralis; the third raised the approved dose for spice decontamination from 10 to 30 kilograys; the fourth allowed doses of up to 1 kilogray to inhibit the maturation of "fresh" produce and to disinfest food.[34]

This latter clearance is of major importance because it allows food irradiation for quarantine purposes. In fact an early and successful market trial was carried out in Florida in September 1986. A farmers' market in North Miami Beach sold out a shipment of the first publicly available irradiated mangoes, grown in and exported from Puerto Rico.[35]

Full use of these clearances depends on further decisions from the United States Department of Agriculture's Federal Safety Inspection Service. Their impact will almost surely also be felt in Canada. Because much of the fresh produce sold in the winter in Canada is trans-shipped from the United States, similar clearances and new inspection procedures will be needed.

Early labelling requirements in the United States called for use of the term "pico-waved" along with the international symbol (see Figure III). In April 1986 the FDA and the United States Department of Agriculture's Food Safety and Inspection Service released a decision on labelling that stated that irradiated foods must be labelled explicitly as either "treated with radiation" or "treated by irradiation" in conjunction with the symbol. For unpackaged commodities at the retail level, this phrase and symbol must appear on the bulk container or on a nearby sign. The labelling decision will be effective for two years before being re-evaluated. Nonetheless, it has clear implications for Canadian labelling regulations, which must be consistent with those in the United States if there is to be free trade in food commodities.

CHAPTER SIX. CANADIAN COMMERCIAL USE

In Canada irradiation processing is used commercially only for sterilizing disposable medical products; no food commodities are commercially irradiated.

Canada has a long history of pre-commercial research and development. This fact combined with the more positive regulatory climate, the banning of gas fumigants, and pressures to enhance food hygiene have spurred an interest in the commercial use of ionizing energy by food companies of all sizes, food trade associations, investment groups, engineering firms, and consulting companies.

In 1985, in response to a survey in which 40 out of 60 member companies indicated an interest in the process and a desire for more information, the Grocery Products Manufacturers of Canada (GPMC) commissioned and distributed a short report about food irradiation. Other food trade associations such as the Fisheries Council of Canada, the Canadian Horticultural Council, and the Canadian Food Processors Association have also investigated the technology. Several producers decided to evaluate irradiation for their commodities, and some large food companies have begun programs to test irradiation on their products. However, given the potential for controversy in this field, most private companies and associations have been relatively quiet about such activities.

Workshop on Food Irradiation

There are a number of issues involved in the commercialization of Canadian food irradiation technology. In 1985, to clarify these issues and to discover the perspectives of the various players, the Science Council commissioned Energy Pathways Inc. to produce a background paper.[36] In July 1985, following receipt of this report, the Science Council hosted a workshop to evaluate the barriers to commercial food irradiation and to sales of Canadian irradiation technology and to decide what to do.

Representatives from food trade associations, engineering companies, the irradiation industry, consumer groups, and various federal government departments met for a day-long session. Participants agreed that the immediate market for the technology is in tropical countries, where food irradiation can be used as an alternative to chemical fumigation. They suggested that in the near term, the technology would find only a few specific applications in Canada: to extend markets, to lengthen the season in which some "fresh" foods are available, and to improve the hygiene of some meat, poultry, and fish products.

However, even if the process will not be widely used in the near future for Canadian food products, many Canadian firms want regulatory clearance for imported foods irradiated as an alternative quarantine measure. Canadian soft fruit importers and sellers, and Canadian food processing companies that use tropically grown seasonings in their products are particularly concerned. In addition they want to know whether Canadian consumers will accept these irradiated foods.

Private sector representatives pointed out that demand for using food irradiation technology in Canada is constrained by the lack of enabling legislation, labelling guidelines, and information. Industry needs more information about economic feasibility, technical benefits, market acceptance, safety, and product testing, and also the availability of treatment facilities.

Enabling Legislation

Food irradiation is not considered a process under Canadian law. It is regulated as a food additive under the Food and Drug Regulations, which are administered by the Health Protection Branch of Health and Welfare Canada.

Clearances have been obtained for some products. Irradiation may be used to inhibit sprouting in potatoes and onions at an average absorbed dose of less than 0.15 kilograys; to disinfest wheat, refined, and whole wheat flour at dose levels below 0.75 kilograys; and to reduce the microbial content of spices at an average absorbed dose of less than 10 kilograys. But at present none of these clearances are used.

When the revised standards for food irradiation were adopted by the Codex Alimentarius Commission in 1983, Canada, as a participating member of the commission, incurred some obligation to make its regulations accord with the new standards. Therefore, in July 1983, the Health Protection Branch circulated Information Letter No. 651, which called for comments from all interested parties.[37]

The letter suggested that food irradiation "no longer be controlled under the food additive provisions of the Food and Drug Regulations. Rather it is proposed to control irradiation as a food process in new regulations." Further the letter recommended the creation of a new division dealing with food irradiation under the Food and Drug Regulations. The Health Protection Branch proposed that Canada accept the recommendation of the Codex Alimentarius Commission to dispense with toxicological testing of individual foods irradiated at less than 10 kilograys. Canadian standards would require that formal submissions for regulatory clearance of specific foods include information to demonstrate the efficacy of the process, the exact dose required to achieve a particular effect (such as shelf life extension in Courtland apples) and the nutritional quality and microbiological profile of the treated food. Such data would be provided through "efficacy testing." Efficacy testing requires that the company or agency seeking a product clearance carry out an industrial scale demonstration run in order to verify the claims of research or pilot scale tests and to establish the criteria for process control.

Under such standards Canada would effectively recognize irradiation as a process and accept the research conclusions of the international scientific community regarding the toxicological safety of irradiated foods. What this means to the food industry is that they will no longer have to undertake long and expensive live-animal toxicology tests to prove the safety of food irradiation on every product for which they seek regulatory clearance. Instead they will have to provide quality assurance data as derived from the much cheaper efficacy tests.

Following distribution of Information Letter No. 651, Health and Welfare Canada received some responses that gave general support to the proposal, and some that questioned the need for and safety of food irradiation.[38] The Consumers' Association of Canada passed a resolution in June 1982 asking the Government of Canada to adopt the Codex Alimentarius Commission code and standards. Health and Welfare Canada have indicated that they intend to do so given the provisions noted above, and will ratify Canada's new regulatory position shortly.[39]

Labelling Regulations

For irradiation to be put to commercial use, the legislation proposed by Health and Welfare Canada must be passed in concert with legislation on labelling requirements determined by Consumer and Corporate Affairs Canada.

To date Consumer and Corporate Affairs has circulated two communiqués (numbers 39 and 50 on the labelling of irradiated food) that set forth possible options for labelling irradiated foods and foods manufactured with irradiated ingredients. The most recent communiqué, number 50, circulated in November 1985, reported that the 43 responses to the first communiqué, number 39, circulated in July 1983, showed industry and consumers to be divided over how irradiated food should be labelled.

The Grocery Products Manufacturers of Canada (GPMC) and most of the food industry favour using an international symbol alone to identify the process, because numerous consumer surveys have shown that the words radiation and irradiation have a negative and alarming connotation. They predispose consumers to reject the concept of irradiated foods without further information. Almost all the studies showed that people associate the word "irradiation" with such issues as the nuclear bomb, nuclear power accidents, radiation sickness, and death.

The Consumers' Association of Canada recommends the word "irradiated" be avoided in favour of a more neutral indicator, such as a symbol that would encite demand for the provision of consumer information. Because it is impossible to distinguish irradiated foods from non-irradiated ones, they feel labelling is necessary if consumers are to exercise their right to decide whether to buy irradiated food. Other consumer groups and individuals want a clear use of the term "irradiated" on all treated foods and package ingredients.

A lack of consensus exists over what phrasing to use if words on labels are required. Industry is worried that, given the general lack of knowledge about ionizing energy, the simple term "irradiated" might generate much public anxiety. Several consumer attitude studies have attempted to evaluate responses to various phrases such as "ionized fresh" or "treated with picowaves." Some consumer advocates have argued that using alternatives to the term "irradiated" would be an attempt to mislead consumers with euphemisms. The same debate has occurred in many countries.

At the March 1985 meeting of the Codex Alimentarius Commission labelling committee it was agreed that the world community would move toward some form of product labelling. But as yet there is no international agreement on terminology, or on whether a symbol alone would suffice.

In South Africa, where a wide variety of products are irradiated and sold at the retail level, a symbol and the letters RSA (Radura South Africa) are used voluntarily to label foods and to indicate their high quality.

The main recommendations put forth in communiqué number 50 from Consumer and Corporate Affairs Canada include the following:

- the international symbol (see Figure III) should be used on all prepackaged irradiated foods;

- the terms RADURA[40] or I.E.T. (ionized energy treated) or T.R.I. (traité aux rayons ionisants) should accompany the symbol;
- the symbol should identify those ingredients that have been irradiated and then included in a manufactured food product;
- bulk foods sold in a retail market should be identified with the above information on posters accompanying the product;
- radio or television advertising of irradiated foods must identify the treatment process to substantiate any claims being made for the product.

Responses to these recommendations are now being evaluated by Consumer and Corporate Affairs. The final ruling on this subject will become effective at the same time as the amendment to the Food and Drug Regulations put forward by Health and Welfare Canada.[41]

Canadian and United States labelling requirements will have to be coordinated to avoid non-tariff trade barriers that could inhibit free trade. Therefore, the April 1986 decision taken by the United States Food and Drug Administration, which called for use of the terms "treated by irradiation" or "treated with radiation," will probably ensure a similar requirement in Canada.

Canadian Research and Potential Use of Food Irradiation

Canada's pre-commercial research and development in food irradiation technology began in the early 1950s at AECL's Chalk River Research Centre. AECL, Agriculture Canada, and Health and Welfare Canada carried out joint research to study the effects of irradiation first on potatoes, then on apples and onions. At about the same time, in 1956, AECL designed and built the first commercial research irradiator, the GammaCell 220. This self-shielded irradiation source, with its automatic timing mechanism, became the principal workhorse for applied studies of food irradiation. During the early 1960s, units were installed at various food research laboratories across Canada: the Ontario Agricultural College, the Fisheries Research Board, Laval University, the University of Manitoba, Macdonald College of McGill University, the University of Alberta, and the University of British Columbia. At least 600 adaptations of this mini-irradiator are used in research centres around the world.

In 1961 the first mobile cobalt-60 demonstration irradiator was built by AECL. Shielded by about 25 cm of lead encased in steel and mounted on a trailer, the irradiator was used to irradiate approximately 50 000 kg of potatoes as it travelled across four provinces between 1961 and 1962. It was subsequently used to irradiate fresh fish in Nova Scotia, and grain, apples, onions, poultry, and egg products in Quebec and Ontario. The first commercial use of irradiation in Canada was attempted in 1965 by Newfield Products Ltd. of Mont-Saint-Hilaire, Quebec. This company used a cobalt-60 pallet-box irradiator to inhibit sprouting in potatoes. However, due to the bad growing season, the harvested potatoes were of too poor a quality for successful irradiation and the company eventually failed.

In 1965 Canada and the United States began their first joint research program on food irradiation. It consisted of a two-year study on extending the shelf life of poultry using low-dose pasturization. The work in Canada was carried out at three institutions: Macdonald College studied microbial reduction and safety, Bio-Research Laboratories looked at nutritional values, and the University of British Columbia examined the effects of irradiation on the taste, look, texture, and smell of treated poultry. These

Figure III. International Symbol for Food Irradiation

test results, backed up by toxicological data on poultry from around the world, were collected in eight volumes and submitted in a petition to allow irradiation of poultry to the Health Protection Branch of Health and Welfare Canada in June 1972.

Shortly afterwards similar research on fish prepared by AECL, the Halifax laboratory of the Fisheries Research Board, and Bio-Research Laboratories was presented to the Health Protection Branch as part of another petition to allow irradiation of fish. These two petitions on fish and poultry represented 10 years of research and included both published and unpublished data. After a 12-month assessment the Health Protection Branch declared it would agree to the petitions on condition that commercial efficacy testing and test marketing be carried out. But in the meantime AECL had phased out its ionizing preservation R&D program and there was no funding for either efficacy testing or test marketing.

Several large Canadian poultry wholesalers, in particular those selling to institutions, are interested in the irradiation of chicken to reduce outbreaks of salmonellosis. In 1984, partly as a result of government pressure to reduce the incidence of salmonella in chicken, the poultry industry decided to evaluate the potential of food irradiation and to carry out the required efficacy tests of irradiation on chicken. Funding for the tests was supplied by several government ministries, and Agriculture Canada acted as research coordinator. The tests, which were run at the Isomedix contractual irradiation facility in Whitby, Ontario, were to determine the standards for efficacy under the new regulations proposed by Health and Welfare Canada. Agriculture Canada prepared a written report of the tests and it was submitted with the previously prepared toxicology data in late 1986 for regulatory clearance. Health and Welfare Canada has not yet made a decision.

Recently turkey processors and Agriculture Canada have been negotiating to co-fund efficacy tests to verify the reduction of disease microorganisms in the commercial-scale irradiation of turkey meat.

The irradiation of fish is another potential application for irradiation in Canada. The fishing industry has shown some interest in using irradiation to extend the shelf life of "raw" fish fillets packaged in specially developed plastic films. An additional three days of shelf life for "fresh" fish would be significant for both the east and west coast fisheries because the fresh product commands a higher price on the market. However, the east coast fishery sells approximately 80 per cent of its catch to the United States, and until the United States approves the irradiation of fish above the currently accepted maximum of 1 kilogray, it will be pointless for Canadian fish companies to invest in irradiation facilities.

Also, as pointed out by the Fisheries Council of Canada at the Science Council workshop on irradiation, high volumes of fish would have to be processed to make gamma irradiation economical. To achieve these high volumes, an irradiator would have to be regionally located. Such an irradiator might replace a number of processing factories in outlying areas with consequent loss of jobs in these areas. Thus, the fishing industry will probably continue to invest in other technologies (for instance, freezer trawlers), and to investigate irradiation of thin fillets of fish using electron-beam accelerators in existing factories or even on ships.

Some feasibility studies have been carried out in the Maritimes on irradiating potatoes to prevent sprouting. But unless the chemical sprout-inhibitors now used are deemed undesirable by the consuming public it is unlikely that this application will be considered seriously in the near future. Some trials have been carried out by IONX, a company in the Maritimes to evaluate very low-level irradiation of seed potatoes and other seeds to enhance field yields, dormancy breaking, and other growing characteristics.

Future opportunities for irradiation of wheat and grain or fresh products such as strawberries and mushrooms may exist in Canada. But as yet growers are expressing interest in tests and verification and not in commercial use.

Economic Considerations

Irradiation technology has the potential to add a new dimension to food processsing in terms of quality, packaging, and product formulations. Prior to the introduction of freezing who would have imagined the vast array of frozen convenience foods that are now so popular?

In Canada and other industrialized nations, food manufacturers have a large investment in conventional products and equipment. They will not readily adopt this radically different and expensive technology unless it can be seen that irradiation will deliver real technical or economic gains.[42]

Since few functional examples of food irradiators exist, each situation requires an economic feasibility study to evaluate trade-offs between capital and running costs versus the new technical benefits. Products that are already thin or can be made thin enough may eventually be treated by linear accelerator machines, but at present the demand is for the treatment of bulk food commodities, which requires the use of gamma technology.

Gamma irradiation demands a high capital expenditure. Total facility costs will vary according to the price of the site, the size and design of the installation, the type

of equipment, and the cost of ancillary equipment and warehousing (possibly including refrigeration or cold storage). A low-capacity, manual-loading batch irradiator initially costs approximately $1.3 million with operating costs of $600 000 for the first year. The capital cost of a high-capacity automatic irradiator is almost $3.9 million, while first year operating costs would run to about $1.2 million.[43]

The nature of the product and the treatment effect sought will define the dose needed and therefore the amount of cobalt-60 required. Cobalt-60 is expensive and is a major determinant of the final cost per unit processed. Initial source payments can vary from $250 000 to $1 million. Because the radioisotope is always "on," decaying at a rate of 12.3 per cent per year, the best economies occur when the facility is run 24 hours a day, year round. Where commodities are harvested only seasonally, the fluctuations in deliveries to the irradiator will increase the per unit cost unless a combination of products can be found to run the irradiator at capacity.

The feasibility study must therefore evaluate the optimum mix and volume of throughputs and the price and demand for the commodities. In addition, costs for salaries, dosimetric services, transportation, energy, changed packaging requirements, distribution, special marketing campaigns, licensing, and efficacy testing must be included where necessary.

In the final analysis probably only the largest companies or cooperatives will buy their own irradiators. In other cases, if the medical disposable irradiation industry is an example, many companies will seek to contract out their products to service or contract irradiators. An economist at Agriculture Canada points out that the opportunities in Canada are limited for a single-purpose food irradiator operating at low cost efficiency. This is based on Canada's seasonal crop production and the structure and size of the Canadian processing industry. Thus multi-use contract irradiators would be appropriate for most applications in Canada.[44] Several groups of Canadian entrepreneurs in British Columbia, Ontario, Quebec, and New Brunswick have incorporated as irradiation businesses to serve this foreseen need. At present there is only one Canadian contract irradiator in Whitby, Ontario, which was built for medical disposables but is adaptable to food processing.

Costs and Benefits

A study carried out by Fundacion, Chile, in 1985 found that a $1 million (U.S.) investment on a cobalt-60 batch irradiator to disinfect fruit and spices and to process poultry would bring a 37 per cent per year rate of return. It would pay itself off in three years. The cost[45] of treatment was evaluated as follows:

Product	Treatment effect	Dose	Cost ($U.S.)
Fruit	Disinfestation	0.5 kGy	2.5¢/kg
Chicken	Sanitization	3.5 kGy	7.5¢/kg
Spices	Disinfestation and sanitization	5.0 kGy	25.0¢/kg

In general, cost estimates for food irradiation vary from about two cents per kilogram for low doses to 25 to 35 cents per kilogram for meats sterilized at the highest doses.

Most analysts feel that the final cost of irradiated products is comparable to that of other food processes because of the positive trade-offs to be gained from the various treatment effects.

For instance, reduced losses from spoilage may mean a greater volume of raw or processed product can reach the market, thus bringing down prices and increasing revenues. In a second case, extended shelf life permits expansion into hitherto inaccessible markets and may permit lower transport costs.

Another benefit in the case of meat products, although not a cost advantage, may be that of enhancing public health. For example, irradiating de-boned chicken or pork carcasses may add to the market price, but the reduction of food-borne disease may be well worth the price. However, as representatives of the poultry industry pointed out at the Science Council workshop, unless the industry is willing to publicize that chicken is salmonella laden, the increased price passed on to the consumer could put the irradiated product at a disadvantage in the retail market. On the other hand the pattern of adoption of the technology through the poultry industry could prove to be significant. If large firms install the technology early, they may obtain certain advantages, including setting new standards for quality, shelf life, and hygiene. Smaller, low-volume processors would then be forced to band together to use the services of a contract irradiator or be squeezed out of the market due to lost sales. As an example of this, the largest poultry processor in Queensland, Australia plans to tackle the market with the slogan "Our product is better for you."

Consumer Acceptance

Consumer attitude studies carried out in the United States and Canada in the last four years show that, although a small segment -- estimated at 10 per cent of the population -- will in all likelihood not accept irradiated foods, in general the problem of public acceptance has been overstated. The Canadian Gallup Poll[46] found "The results of the qualitative survey indicate overall positive reactions to the process of irradiation, specifically in terms of intent to purchase, product perceptions (taste, texture, smell), health benefits and assessment of the idea for consumers in general." A recent study of American consumers published in January 1986 by the Brand Group of Chicago[47] found that rejections made up approximately 5-10 per cent of the population surveyed. Negative decisions stemmed from various personal beliefs (for instance the desire to eat only natural, unprocessed foods or an objection to all forms of nuclear technology). The undecided population was estimated at 55-65 per cent of the total, and acceptors ranged from 25 to 30 per cent. Both a wide-ranging public information campaign to explain food irradiation, and the promotion of individual products as they are introduced may be required for market success of the process.

At the Science Council of Canada workshop on food irradiation all participants agreed that a comprehensive public information program is necessary. This should be directed toward consumers, processors, and retailers. Information should deal with the process, its safety and benefits, and also with recommended handling procedures. But a

division of opinion arose over who should organize such a program. Some suggested the food industry or consumer groups such as the Consumers' Association of Canada. Some advocated that the irradiation industry or government should take the lead.

An individual company would incur high promotion costs and gain no competitive advantage if it were among the first to introduce irradiated foods without the support of a nation-wide education campaign.

A participant from the private sector argued that industry as a collective group should determine the nature of such a program. The model proposed was similar to that of the Coalition for Food Irradiation, an American group that includes many large food companies, members of the irradiation industry, and other advocates. But it was pointed out that many consumers are sceptical about the claims of industry and it would be better to have an "honest-broker" to be a partner in developing an education campaign.

The question was raised as to who should pay for such a large-scale and costly program: government or industry or the two together?

The food industry would like to see more market surveys carried out on irradiated products to evaluate consumer acceptance and to determine the promotion needed. Again, gathering such information would be costly and supply little competitive advantage to single companies. Participants suggested some coordinated government-industry sponsorship would be necessary.

Test marketing should be part of any program for evaluating consumer acceptance according to Canadian industry and government representatives. At the Science Council workshop a suggestion was made that a product or family of products should be selected, irradiated and market-tested as a learning process for the public, for food groups, regulators, and for the industry in general. The cost of efficacy testing (a commercial scale de-bugging of the process to prove its viability for retail quality, high-volume processing as required by the Department of Health and Welfare) and promotion could be collectively supported by an organized industry or industry-government group. Collective action would reduce the threat to a pioneer company of negative marketing by competitors. Poultry, fish fillets, salmon, "fresh" and processed meat products, and pet food were suggested as possible subjects for demonstration purposes, but no consensus was reached as to priority. Conversely it was argued that because many companies are already seriously looking into irradiation, these companies themselves should decide when and which commodity to test.

Demonstration Facilities and Applied Research

Canadian producers and food manufacturers have asked for a demonstration facility tailored specifically for processing food where efficacy testing and applied research could be carried out.

Scientific papers from around the world define the dosages needed and the product responses obtained under controlled research conditions. Applied research is needed to verify these findings for commercial-scale applications. More basic and applied research is needed on the response of plant products to irradiation, since most of the fruit and vegetable studies were conducted about 20 years ago. New cultivars and advances in combining irradiation with other treatments (such as cooling, heating, controlled-atmosphere packaging, or chemical dips) will motivate research in this area.[48] Also the frozen and manufactured foods sectors want to verify scientific

claims about the elimination of microorganisms and evaluate combination methods of treatment (such as irradiating a frozen product in a reduced oxygen atmosphere) and the packaging industry wants to test new materials.

A privately-owned contract irradiator in Whitby, Ontario, although not strictly designed for food processing, is already available for demonstration testing. It was used as the test facility for the efficacy and verification testing of poultry.

Two new facilities designed and built specifically for treating food are nearing completion in Quebec. The first, a demonstration and testing unit owned and operated by Agriculture Canada will open its doors in early 1987 at Saint-Hyacinthe, Quebec. This research and pilot scale batch irradiator will fulfill part of Agriculture Canada's mandate to carry out on-going research in food irradiation. It is part of the facilities provided by the new Centre de recherche sur les aliments à Saint-Hyacinthe (CRASH), which has been set up as a government research centre to provide equipment and support on a cost-sharing or full-costing basis to the food industry. Agriculture Canada plans to offer the centre to train and familiarize representatives from the local food industry and also those from other countries. The design of the irradiator makes it unsuitable for efficacy and market testing.

The second facility (including a commercial-scale irradiator, warehouse, and dosimetry laboratory owned, operated, and managed by AECL-RCC) will open in 1987. The facility is attached to the Centre de recherches en sciences appliquées à l'alimentation (CRESALA) on the Laval, Quebec, grounds of the Institut Armand Frappier, a research and teaching centre linked to the Université du Québec à Montréal. This irradiator has been planned to provide great flexibility for varying experimental dose levels and for modifying the interior design. The laboratory and teaching functions will be performed by CRESALA. The Laval facility, called the Canadian Irradiation Centre/Centre de l'irradiation du Canada, was conceived as a pre-commercial, pilot irradiator. It will carry out a broad range of functions including applied research and testing, and market trials both for Canadian industry and for potential offshore purchasers of the Canadian technology on a non-profit, cost-recovery basis. Included in its mandate is the training of irradiation technicians, food handlers, food processors, and food science students. Management suggests that the facility could become the North American training centre for food irradiation processing.

On paper the size of the irradiators and the different mandates of the two host institutions suggest that these two facilities will provide different services, but some observers believe they will be in competition, especially since they stand within 60 kilometres of each other.

Some of the participants at the Science Council meeting argued that efficacy testing and cost-benefit analysis would be artificial unless carried out at a demonstration irradiator erected in the harvest region of the particular product to be tested. For example, a commercial-scale irradiator could be set up on the Atlantic seaboard close to the fisheries, used for pre-commercial demonstration purposes, and then put into full commercial use. Other regions that have been suggested as possible sites for pilot or demonstration irradiators are Manitoba (where a feasibility study was recently carried out) and British Columbia. Food groups, and federal and provincial governments have shown interest in these propositions, but no action has been taken. In mid 1986 the government of British Columbia partially funded the building of a food

research laboratory and pilot scale irradiation processing centre in Richmond. This centre was to be furnished with a new high-energy linear accelerator, but the American company promoting the machine has not been able to deliver it.

Export Market Opportunities for Canadian Food Irradiation Technology

Many tropical and sub-tropical countries have waited with anticipation for the recent approvals for food irradiation in the United States. These approvals will help maintain and enhance the growth of the billion dollar U.S. market for their produce, fish, and meat. Observers believe that these approvals in such a major market will increase interest in the commercial use of food irradiation in many countries. China, Australia, Mexico, New Zealand, Chile, Thailand, Jamaica, and other countries in South America, Southeast Asia, and the Caribbean have shown interest in buying Canadian irradiation equipment.

Canadian use of food irradiation has been described as an indispensable condition for promoting our technology in the off-shore market. But at the Science Council of Canada workshop representatives from engineering consulting firms questioned this thinking and the priorities for action that derive from it. They suggested it may be a pitfall to link strategies for the international market opportunity so intimately with acceptance of the technology by the Canadian food industry. Demonstration projects are the key to irradiation technology sales and these do not necessarily need to be linked exclusively to the Canadian domestic market. They argued that Canada should develop an international marketing campaign focusing on a set of countries having common features of product, climate, and geography.

Representatives suggested that a demonstration irradiator built in a selected tropical country and tailored to a particular product or product mix would be an excellent promotion for sales of facilities in other countries with regional similarities. For example, tropical countries in South America and around the Mediterranean could be targeted with fish as the test product. Such demonstrations would permit Canada to establish an international position and gain credibility in foreign markets. This kind of initiative should be led by firms such as consulting engineers, used to tackling large scale international projects. The participants felt that private enterprise could finance consortia to cover the many linked aspects of putting up turnkey plants: feasibility evaluation, marketing, design, engineering, building, food handling, and packaging. They could also participate in related activities, such as commodity exchange and countertrading. Such a cohesive approach would bring benefits to Canada and all the exporters involved in this particular technology.

In addition to AECL-RCC (Canada's agent for gamma irradiation technology) and the new companies selling linear accelerators, a few private engineering firms, consultants and contract irradiation companies have developed some expertise in food irradiation. Food science departments at several Canadian universities -- Guelph, Macdonald College, UBC, Laval, and the Université du Québec à Montréal (Institut Armand Frappier) -- have research experience. Agriculture Canada has in-house expertise in applied food irradiation research and testing and a commitment, as shown in its Saint-Hyacinthe research centre, to training and further research. Finally, many Canadian firms have experience in food handling, storage, and processing.

Thus, Canada can provide feasibility evaluation, construction, and food management, packaging, and storage, with the equipment sale to furnish a complete

food processing package based on irradiation. The industrially developed countries may ask Canada only to provide the design, the equipment, and the source. But less developed countries will need to invest in the plant, refrigeration, packaging materials and equipment, warehouses, the training of operators, and perhaps in some cases, in the development of a more sophisticated harvest collection system, including roads and refrigerated vehicles. By forming consortia to provide these services, a wide number of Canadian firms could piggy-back on and benefit from the AECL technology, which was researched and developed through the investment of public funds. This inclusive approach would make Canadian gamma technology more competitive versus foreign firms promoting their own gamma facility designs and equipment. The only return to Canada in transactions of foreign firms would be a contract to supply the cobalt-60 source. As the linac technology comes on stream, it too can form the centrepiece of a Canadian food irradiation package suitable to another niche in the food industry.

The sale of a Canadian food irradiator and provision of accessories to a foreign buyer could increase sales of Canadian food products in exchange for commodities treated with the Canadian system. It could also predispose the purchaser to buy related products, for example, fertilizer and farm equipment.

But offshore market demand does not always function in a clear-cut fashion; the ancillary services must be promoted along with the technology. This raises the issue of the state of the relationship between the producer of the technology and the providers of the ancillary services. Since AECL-RCC is a profit-seeking subsidiary of the crown, functioning like a private firm, its mandate is only to promote and sell its own irradiation source material, equipment, and designs, and it has no obligation to promote a larger package of Canadian products and services abroad.

At the Science Council of Canada meeting in 1985 this issue was raised by some representatives from the private sector who questioned the nature of the "broad national opportunity" offered by food irradiation technology. They wondered how willing the crown corporation was to share the field and encourage spin-off agreements with other private enterprises.

This situation is changing. The Canadian International Development Agency (CIDA), has received petitions for and funded Canadian consultants to perform pre-feasibility and feasibility studies of food irradiation for several developing countries -- Jamaica, Egypt, and Chile. Most recently CIDA has entered a bilateral agreement with the government of Thailand to contribute funds for building a pilot Canadian gamma irradiation facility. The agreement includes provisions for the irradiator, warehousing, a cold-room and freezer, food handling equipment (such as fish de-gutters), offices, a laboratory, and operator training to be carried out in Canada at the Irradiation Centre in Laval. Thailand intends to use this facility to remove pathogens and extend shelf life of fish and shellfish which are eaten domestically and exported. In addition the plant will process poultry and fruit. Thailand hopes eventually to beat Australia and Japan as an Asian regional demonstration and training centre for food irradiation. This plant is the first instance where a consortia of complementary Canadian companies will be drawn together to furnish the various aspects of the facility. As such it will familiarize Canadian companies with each other and the technology and the plant will be a model for future purchases in the Southeast Asian region.

Another division of opinion over market opportunities available to private companies has arisen over the role of the Department of External Affairs in transmitting requests for tenders that come from other countries. In the past AECL-RCC has done most of the off-shore marketing of the Canadian system, but recently consultants and engineering firms have entered the field. In many countries purchase of such an expensive technology proceeds through government-to-government bilateral agreement. These negotiations go through External Affairs, which, because it sees AECL-RCC as the Canadian kingpin, passes them to that company. Some claims have been made that despite private sector investment in developing the initial market demand, the investing firm has been undercut and left out by this procedure.

CHAPTER SEVEN. CONCLUSION

Commercial development of a Canadian food irradiation industry confronts a "chicken and egg" situation. Immediate demand pressure for the technology stems from tropical countries desiring food irradiation mainly as a replacement quarantine method for food exports. Nations such as Canada that receive these exports are banning chemical fumigants, but they are slow in providing enabling legislation for irradiation as an alternative. In addition both the producer countries and Canadian companies that use or sell these products are concerned that the Canadian public will reject irradiated products. Consumer studies have shown that the majority will accept food irradiation given adequate information, but there is no agent to carry out such an expensive and non-proprietory information campaign. Where there has been success in commercializing food irradiation, integration of the whole production and distribution system including information, and training were seen to be necessary. The lack of a domestic agent to carry out these functions leaves potential offshore users and buyers of food irradiation technology in a difficult position.

The Canadian domestic food industry has voiced no demand for the technology because enabling legislation has not existed, because of in-place conventional technologies, and because industry has had insufficient information to evaluate consumer response and undertake economic cost/benefit analysis. Without Canadian food-industry demand, there has been no great pressure on legislators to move quickly to introduce regulations, nor on officials from other government ministries to provide support. AECL-RCC, the technology supplier, is an institution of the crown and has not been able to apply pressure to obtain legislative changes and funding support, as one government agency cannot make support requests from another. The demand for such action must come directly from the user industry, in this case, the food sector. In Canada there is as yet no readily identifiable interest group such as the Coalition for Food Irradiation formed in the United States, to act as a focus for this demand.

Canada has the potential to develop a wide-based export food irradiation industry, including firms providing services in support of, and related to, the processing of food with Canadian irradiation technology in many countries.

The key to growth is the passage of clear-cut legislative approvals, followed by clear enunciation of procedures to be followed to obtain particular clearances, and also the enunciation of inspection regulations. Once enabling legislation is passed, the use of irradiation on Canadian grown food will depend upon consumer acceptance, industry acceptance, and government-industry cooperation. If there were some pressure from government to control food-borne diseases and from consumers and health professionals lobbying for cleaner food, the poultry and meat industry would show more interest.

A central information office is required as a source for materials outlining the possible human risks versus benefits, economic costs and advantages, and technical evaluations of potential uses. It would be appropriate for Agriculture Canada to take on this role.

A well-designed and balanced information program, based on this source material is necessary before or concurrent with the introduction and promotion of irradiated food items by industry. It is necessary for three reasons: for strict marketing purposes, to enable informed choice by industry and consumers, and to raise awareness of the new

handling and storage practices needed to ensure that recontamination by pathogens and microbes does not occur before treated foods are consumed.

The need for such an information program is well recognized in the industry, among consumer groups, and in government. But it is still not resolved who should carry it out. Agriculture Canada, the Consumers' Association of Canada, and food trade associations such as the Grocery Products Manufacturers of Canada have each voiced support for an education program.

Test marketing and consumer attitude surveys are needed by the food industry, efficacy tests must be carried out for product clearance from the Ministry of Health and Welfare, but there is no competitive advantage for an individual company to make the costly investments in such studies.

Thus distribution of general information, and market and efficacy testing are all areas for cooperation and joint-funding by industry and government.

At the Science Council meeting many participants felt that an advisory committee should be created to work with the food industry so no one company would have to do all of the consumer education or pay for all the testing. Different models for the make-up of such a committee were suggested. Some participants suggested it should include representatives from food companies, food trade associations, engineering groups, start-up irradiation firms, universities, and government departments. This committee should report to a federal agency that would coordinate activities. With some significant exceptions, the consensus of the Science Council meeting was that Agriculture Canada should be asked to take this role. Some participants expressed fears that Agriculture Canada would move too slowly and would be too oriented to facilitating domestic as opposed to international developments.

Subsequent to the meeting the Minister of Agriculture accepted the proposal and Agriculture Canada became the lead federal agency for coordination of food irradiation activities.

Following this acceptance, Agriculture Canada has refined its internal policy and structure for dealing with food irradiation issues.

Toward Action

Although Agriculture Canada has established the Advisory Committee on Food Irradiation, it has yet to achieve a focused and united plan of action particularly with the private sector. The plan should include the following main elements:

- Health and Welfare Canada must speedily complete the regulatory approval of food irradiation as a process rather than an additive and publish the specified control limits under the Food and Drug Act.
- With a view to speeding up individual clearance procedures, Health and Welfare Canada should make food irradiation petitions a priority and clearly establish the steps to be followed.
- Consumer and Corporate Affairs Canada should speed the publication of clear labelling guidelines.
- The Grocery Products Manufacturers of Canada should facilitate discussion in the private sector with regard to using food irradiation and with regard to providing objective and credible information to consumers.

- The Department of Regional Industrial Expansion should reassess its role with regard to food irradiation and work in conjunction with the Department of External Affairs to market the technology internationally, by encouraging formation of consortia capable of delivering large computerized food handling facilities centred around food irradiation.
- Health and Welfare Canada and Agriculture Canada should set in place training requirements for field officers and inspection protocols for monitoring process standards in both domestic and foreign food irradiation facilities and for verifying the acceptability of imported foods irradiated for quarantine purposes.
- Agriculture Canada, as the federal lead agency, should coordinate discussions with the private sector and other goverment agencies to establish who should be responsible for the following:
  - an inclusive public information program for consumers, members of the food industry (processors, distributors, packagers, and handlers), and government policy and decision makers;
  - the design and funding of generic market trials of test products, the results of which should be available to all potential users of irradiation technology;
  - the establishment of documentation requirements, specialist support and procedures needed to guide potential users of food irradiation technology and importers of irradiated food through the labyrinth of clearance and inspection procedures.

It is important for the Canadian Food Irradiation Advisory Committee, whose main focus is on the Canadian situation, also to support development of export markets for this technology.

Most observers agree that it is the offshore market that will generate a more pressing demand for the technology over the next few years. However, competition for the tropical market is already intense and other countries have developed plans in support of firms selling food irradiation facilities. For instance, the United States Agency for International Development (USAID) has included food irradiation promotion and funding as part of its Caribbean basin initiative. Canada cannot afford to procrastinate if it wants to obtain a significant share of the foreign market. CIDA has the opportunity to play a significant role.

It is still by no means clear whether Canadians will accept food irradiation of Canadian grown food as economically and socially desirable. But as the United States has approved irradiation for certain applications, and some countries will now be exporting irradiated food to the United States from where it will be trans-shipped to Canada, Canadians will have to respond.

NOTES

1. The main federal government decision makers include Atomic Energy of Canada Limited, Agriculture Canada, Department of Regional Industrial Expansion, Consumer and Corporate Affairs Canada, Health and Welfare Canada, Department of Fisheries and Oceans, External Affairs, Canadian International Development Agency.

2. The main private sector interests include members of the Fisheries Council of Canada, Canadian Poultry and Egg Processors Council, Meat Council, Grocery Products Manufacturers of Canada, Canadian Horticultural Council, Canadian Food Processors Association, Canadian Fruit Wholesalers Association; and also, engineering consulting companies, feasibility consultants, prospective contract irradiation firms, refrigeration and warehousing companies, and food commodity brokers.

3. United Kingdom, Advisory Committee on Irradiated and Novel Foods, Report on The Safety and Wholesomeness of Irradiated Foods (London: Her Majesty's Stationery Office, 1986), 27.

4. Steven Sonsino, "Radiation Meets the Public's Taste," New Scientist (19 February 1987), 46-48.

5. The unit of measurement used for ionizing processing is the rad (radiation absorbed dose). A rad is defined as "the unit of energy absorbed from ionizing radiation by the matter through which the radiation passes." The more recent international measure is the gray (Gy) 1 gray = 100 rad = 1 joule/kilogram.

6. See P.H.E. Clarkson, "Radiation Processing: Industrial Applications," in Conférence sur l'irradiation et ses applications, 26-28 September 1984, Centre de Recherche en Sciences Appliquées à l'Alimentation, Institut Armand Frappier, Laval, Quebec, (Laval, Quebec: Institut Armand Frappier, 1985), 162-173.

7. Pamela S. Zurer, "Food Irradiation: A Technology at a Turning Point," Chemical and Engineering News (5 May 1986), 54.

8. T. Roberts, "Microbial Pathogens in Raw Pork, Chicken and Beef: Benefit Estimates for Control Using Irradiation, "American Journal of Agricultural Economics 67,5 (December 1985), 957.

9. Agriculture Canada, Salmonella in the Canadian Poultry Meat Industry, (Salmonella coordinating unit, Agriculture Canada, 1981), 101.

10. E.C.D. Todd, "Economic Loss Resulting from Microbial Contamination of Food," in Proceedings of the Second National Conference on Food Protection, U.S. Food and Drug Administration, 9-11 May 1984 (Washington: U.S. Food and Drug Administration, 1984), 151-165.

11. E.C.D. Todd, "Costs of Foodborne Disease in Canada," paper presented at the International Consultative Group on Food Irradiation, IAEA Task Force meeting on

the Use of Irradiation to Ensure Hygienic Quality of Food,Vienna, 14-18 July 1986 (Vienna: IAEA, in press).

12. W.M. Urbain, "Irradiated Foods: A Giant Step Beyond Appert," Nutrition Today (July, August 1984), 7.

13. Robert Steyer, "Irradiated Food: A Marketing Hot Potato," Across the Board 23 (July/August 1986), 17.

14. Ron Krystynak, "Current Concerns -- Food Irradiation: An Economic Perspective," Food Market Commentary 8, 3 (Ottawa: Agriculture Canada, September 1986), 21.

15. For a discussion of the history of research on food irradiation see George G. Giddings, "A Reply to Food Irradiation Critics," open letter mimeographed by Isomedix Inc., 11 Apollo Drive, Whippany, New Jersey 07981, November 1984; and W.M. Urbain, "Significant Milestones of Progress to Date in Food Irradiation and Identification of Areas of Future Advances," in Food Irradiation Processing, proceedings of an IAEA/FAO symposium, Washington, D.C., 4-8 March 1985 (Vienna: IAEA/FAO, 1985).

16. United Kingdom, Advisory Committee on Irradiated and Novel Foods, op. cit., 10.

17. Ibid.

18. World Health Organization, Wholesomeness of Irradiated Foods, report of a joint FAO/IAEA/WHO expert committee (World Health Organization Technical Report Series No. 659, 1981).

19. Council for Agricultural Science and Technology, Ionizing Energy in Food Processing and Pest Control: Wholesomeness of Food Treated with Ionizing Energy, Report Number 9 (Ames, Iowa: July 1986), 5.

20. United Kingdom, Advisory Committee on Irradiated and Novel Foods, op. cit., 17.

21. Pamela S. Zurer, op. cit., 48.

22. United States, Federal Register, 51:75 (1986), 13377.

23. United Kingdom, Advisory Committee on Irradiated and Novel Foods, op. cit., 17.

24. Council for Agricultural Science and Technology, op. cit., 5.

25. Pamela S. Zurer, op. cit., 49.

26. United Kingdom, Advisory Committee on Irradiated and Novel Foods, op. cit., 18.

27. A.I. Levina and A.E. Ivanov, "Pathomorphology of the Kidneys in Rats after Prolonged Ingestion of Irradiated Foods," Bulletin of Experimental Biology and Medecine 85 (1978), 236-238; and A.E. Ivanov and A.I. Levina, "Pathomorphological Changes in the Testes of Rats Fed on Products Irradiated with Gamma Rays," Bulletin of Experimental Biology and Medecine 91 (1981), 232-234.

28. P.C. Kesavan and P.V. Sukhatame, Summary of the Technical Report on the data of NIN, Hyderabad and BARC, Bombay on the Biological Effects of Freshly Irradiated Wheat, Unpublished report submitted to the Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Food, 1976). Obtained courtesy of the U.S. Food and Drug Administration.

29. Ralston Purina Co., Final Report: A Chronic Toxicity, Oncogenicity, and Multigeneration Reproductive Study Using CD-1 Mice to Evaluate Frozen, Thermally Sterilized, Cobalt-60 Irradiated, and 10 MeV Electron Irradiated Chicken Meat, Report to U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service (Washington: United States Department of Agriculture, June 1983).

30. For discussion about the Ralston Purina research see United States, Federal Register 51, 75 (1986), 13386; and Council for Agricultural Science and Technology, op. cit., 21.

31. See T.K. Murray, "Nutritional Aspects of Food Irradiation" in P.S. Elias and A.J. Cohen, eds. Recent Advances in Food Irradiation (Amsterdam: Elsevier, 1983), 203.

32. E.S. Josephson, M.H. Thomas, and W.K. Calhoun, "Nutritional Aspects of Food Irradiation: An Overview," Journal of Food Processing and Preservation 2 (1978), 299-313.

33. Pamela S. Zurer, op. cit., 51.

34. United States, Federal Register, 51:75 (1986), 13376-13399, and A. Toufexis, "Food Fight over Gamma Rays," Time (22 September 1986), 50.

35. See United States, House of Representatives, Committee on Agriculture, hearing before the Subcommittee on Department Operations, Research, and Foreign Agriculture, Federal Food Irradiation Development and Control Act of 1985, Ninety-Ninth Congress, Serial Number 99-14 (Washington: U.S. Government Printing Office, 18 November 1985), 1-1229.

36. K. Knight, An Overview of Food Irradiation in Canada, unpublished document prepared for the Science Council of Canada, 1985.

37. See B.L. Smith, "Food Irradiation -- New Interest in an Old Process," Food Market Commentary 6, 4 (Ottawa: Agriculture Canada, December 1984).

38. A response entitled "Gamma Irradiation as a Means of Food Preservation in Canada" prepared by L.R. Pim for the Pollution Probe Foundation is available from the foundation at 12 Madison Avenue, Toronto, Ontario M5R 2S1.

39. Requests for information letters regarding food irradiation may be sent to Food Regulatory Affairs Division, Food Directorate, Health Protection Branch, Health and Welfare Canada, Ottawa, Ontario K1A 0L2.

40. RADURA is an acronym believed to be derived from the phrase "durability enhanced by radiation." It is also an easily remembered and useful contraction for radurization, radicidation, and radappertization.

41. Requests for copies of communiquées 39 and 50 and those to be published should be sent to Manufactured Food Division, Consumer Products Branch, Consumer and Corporate Affairs Canada, Place du Portage, Phase I, 16th Floor, 50 Victoria Street, Hull, Quebec, K1A 0C9.

42. For general reference see Rosanna M. Morrison and Tanya Roberts, Food Irradiation: New Perspectives on a Controversial Technology, A Review of Technical, Public Health, and Economic Considerations, United States Office of Technology Assessment (Washington, D.C.: December 1985), 162.

43. H.G. Gay and J.G. Kotler, "Food Irradiation: Economics of Gamma Processing in Cobalt-60 Irradiation Facilities," in Proceedings of Association of South-East Asian Nations Workshop on Food Processing, Bangkok, Thailand, 26-28 November 1985 (Kuala Lumpur, Malaysia: ASEAN Food Handling Bureau, 1986).

44. R. Krystynak, "Food Irradiation: An Economic Perspective" Food Market Commentary 8, 3 (Ottawa: Agriculture Canada, September 1986), 17.

45. E. Meyer, "Chilean Fruticulture and Market Development for Export of Irradiated Fruits from Chile," Paper prepared for the meeting of the Task Force on Marketing/Public Relations on Food Irradiation of the International Consultative Group on Food Irradiation of the IAEA/FAO, Ottawa, 8-12 September 1986 (Vienna: IAEA/FAO, in press).

46. Canadian Gallup Poll Ltd., Marketability Testing of Irradiated Fish and Seafood, May 1984.

47. Brand Group, Inc., Irradiated Seafood Products: A Position Paper for the Seafood Industry, (Chicago, Illinois: January 1986).

48. Wood, D.F., "Irradiation and its Application -- Plant Products," in Conférence sur l'irradiation et ses applications, 26-28 Septmber 1984, Centre de Recherche en Sciences Appliquées à l'Alimentation, Institut Armand Frappier, Laval, Quebec, (Laval, Quebec: Institut Armand Frappier, 1985), 30.

Conseil des sciences du Canada
Science Council of Canada

Document d'étude

Le point sur l'irradiation des aliments

Susan Mills

LE POINT SUR L'IRRADIATION DES ALIMENTS

Susan Mills

Avril 1987

Les rapports d'étude sont des documents de travail préparés par le Conseil des sciences du Canada en nombres limités, à l'intention des groupes et des personnes intéressés, afin d'obtenir leurs commentaires.

Les opinions exprimées dans le présent document sont celles de l'auteur; elles ne sont pas nécessairement endossées par le Conseil des sciences du Canada.

Pour obtenir gratuitement des exemplaires de

LE POINT SUR L'IRRADIATION DES ALIMENTS

s'adresser au :

Service des publications
Conseil des sciences du Canada
100, rue Metcalfe
Ottawa (Ontario)
K1P 5M1

This document is also available in English at the above mentioned address

©Ministère des Approvisionnements et Services, 1987

N° de catalogue SS21-5/1987-2F
ISBN 0-662-94265-5

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos, 5

Préface, 7

Résumé à l'intention de la direction, 9

Chapitre un. Le potentiel de l'irradiation des aliments, 15
Possibilités offertes, 15
Défis à relever, 17

Chapitre deux. Le traitement des aliments par radiations ionisantes, 18
Les effets de l'énergie ionisante, 18
Formes de technologie de l'irradiation, 18
Radio-isotopes et technologie canadienne d'irradiation aux rayons gamma, 20
Technologie des accélérateurs d'électrons -- accélérateurs linacs, 21
Technologie des machines à rayons X, 22

Chapitre trois. Utilité de l'irradiation des aliments, 24
Doses utilisées, 24
Effets des traitements, 24
Remplacement des fumigants, 24
Réduction des organismes pathogènes dans la viande rouge et la volaille, 26
Prolongation de la durée de conservation à l'étalage, 27
Avantages pour les fabricants, 28
Limites du traitement, 28

Chapitre quatre. Sécurité et nutrition, 30
L'équipement d'irradiation, 30
Les aliments traités par radiations ionisantes, 31
Recherche, 32
Toxicologie, 33
Nutrition, 36
Micro-organismes mutants et survivants, 37

Chapitre cinq. Applications commerciales à l'échelle internationale, 38
Situation actuelle, 38
Applications dans les pays moins développés, 43
Normes et usages aux États-Unis, 44

Chapitre six. Applications commerciales au Canada, 46
Atelier sur l'irradiation des aliments, 46
Législation habilitante, 47
Réglementation concernant l'étiquetage, 48

TABLE DES MATIÈRES (suite)

Recherches sur l'irradiation des aliments et applications possibles au Canada, 50
Considérations économiques, 53
Coûts et avantages, 54
Accueil réservé par les consommateurs, 55
Installations de démonstration et recherche appliquée, 57
Perspectives de la technologie canadienne de l'irradiation des aliments sur les marchés d'exportation, 58

Chapitre sept. Conclusion, 62

Plan d'action, 64

Notes, 66

Liste des tableaux

Tableau I . Doses utilisées pour l'irradiation des aliments, 25
Tableau II. Irradiateurs commerciaux disponibles pour le traitement des aliments et des provendes, 39
Tableau III. Irradiateurs commerciaux en projet pour le traitement des aliments et des provendes, 41

Liste des figures

Figure I. Irradiation des aliments par énergie électromagnétique, 19
Figure II. Irradiateur automatique d'aliments sur palettes, 23
Figure III. Symbole international de l'irradiation des aliments, 50

AVANT-PROPOS

Les nouvelles technologies peuvent servir à moderniser les industries traditionnelles, à créer de nouvelles industries et à diversifier l'infrastructure économique nationale. Le Programme des sciences et technologies émergentes (STE) du Conseil des sciences du Canada a été mis sur pied pour identifier rapidement les nouvelles découvertes du domaine des sciences et de la technologie qui sont susceptibles de jouer un rôle déterminant dans la croissance future de l'économie canadienne, ainsi que pour en promouvoir les applications.

Le programme STE préconise une consultation large, par le biais notamment d'ateliers et de conférences regroupant des chercheurs, des technologistes, des industriels et des investisseurs. Chaque rencontre met l'accent sur un domaine émergent ou encore non commercialisé des sciences et de la technologie et sur les secteurs économiques ou sur les industries qui pourraient tirer avantage des applications commerciales de la recherche dans ce domaine. Le Programme joue un rôle de catalyseur en favorisant la collaboration entre des intervenants clés qui risqueraient autrement de ne jamais se connaître.

Des rapports d'étude précédents ont mis l'accent sur les matériaux industriels de pointe et sur les technologies émergentes dans le domaine des plastiques. Un autre a porté sur les résultats d'une enquête nationale qui a permis à des chercheurs et des ingénieurs éminents de déterminer les technologies émergentes qui, selon eux, revêtiront une importance stratégique pour le Canada. Selon plusieurs des répondants à ce sondage, l'irradiation des aliments fait partie de ces technologies émergentes.

Le présent rapport fait le compte rendu d'un atelier traitant de l'irradiation des aliments. Il précise les domaines qui nécessitent la prise de décisions politiques et dresse un plan d'action, fondé sur la coopération entre les secteurs public et privé, qui permettrait au Canada de saisir l'occasion qui lui est donnée grâce à la position de chef de file mondial qu'il occupe actuellement dans le domaine de la technologie de l'irradiation des aliments.

Le directeur adjoint de la recherche
Conseil des sciences du Canada
Guy P.F. Steed

PRÉFACE

Le présent rapport d'étude poursuit deux objectifs : premièrement, renseigner le public sur l'irradiation des aliments, une technologie émergente qui fournit au Canada l'occasion de bâtir une nouvelle industrie axée principalement sur la création de débouchés prometteurs à l'étranger; deuxièmement, favoriser l'établissement d'un consensus entre les décideurs du gouvernement[1] et du secteur privé[2] sur ce qu'il nous reste à faire afin de tirer profit de cette nouvelle technique tant sur les marchés intérieurs qu'à l'exportation.

Nous traitons, dans les pages suivantes, des possibilités offertes par l'irradiation des aliments, nous expliquons comment les aliments sont irradiés, nous précisons quelle est l'utilité de l'irradiation des aliments, nous examinons les questions de la sécurité de l'équipement et de la salubrité et de la valeur nutritive des aliments irradiés, nous examinons les progrès réalisés à l'échelle commerciale à travers le monde, nous évaluons la situation qui existe au Canada et, finalement, nous tirons certaines conclusions et proposons un plan d'action.

Nous tenons à remercier tous ceux qui ont partagé leurs connaissances, fourni des conseils et consacré du temps pour la préparation du présent rapport. Merci surtout à l'équipe d'Agriculture Canada et aux représentants de la Direction générale de la protection de la santé de Santé et Bien-être social Canada, de Consommation et Corporations Canada, des Fabricants canadiens de produits alimentaires, de l'Association des consommateurs du Canada, de la Société radiochimique de l'Énergie atomique du Canada, du Centre de recherches en sciences appliquées à l'alimentation, de Accelerator Associates et de l'Ionizing Energy Company of Canada Limited (IONX).

Nous remercions tout spécialement M. Kevin Knight, de K. Knight Management, pour les recherches qu'il a effectuées et pour l'intérêt soutenu qu'il a manifesté pour ce projet. Guy Steed, Ruth Wherry et Kevin Wilmut nous ont gracieusement apporté leur aide pour l'analyse des données, notamment en éclaircissant les questions relatives aux risques et aux avantages des changements technologiques pour la société. Finalement, nous nous en voudrions d'oublier l'aide que nous ont apportée les membres du personnel de la bibliothèque et des communications du Conseil des sciences.

RÉSUMÉ À L'INTENTION DE LA DIRECTION

Maintenant que beaucoup de pays ont établi des normes sur l'utilisation des radiations ionisantes pour le traitement de divers types d'aliments destinés à la consommation humaine, le marché mondial pour la technologie de l'irradiation des aliments connaît une croissance rapide. Le Canada, grâce à sa position de chef de file mondial dans ce domaine, est en mesure de se tailler une place de choix sur ces marchés. Nous ne pourrons cependant tirer pleinement profit des possibilités qui nous sont offertes que si nous parvenons à dissiper les craintes suscitées par cette technologie chez les Canadiens. Les secteurs public et privé se doivent en outre de collaborer à la mise au point d'un plan d'action dont la coordination devrait être confiée à un ministère du gouvernement fédéral.

L'irradiation des aliments est une technique qui consiste à exposer les aliments à l'action de rayonnements ionisants, lesquels traversent les produits sans y laisser de trace de radioactivité. Lorsque cette énergie ionisante, comprenant des rayons gamma, des rayons X et des faisceaux d'électrons, traverse les aliments, les liaisons moléculaires sont brisées et on assiste à la formation de nouveaux produits plus stables. Ce changement chimique bloque la multiplication et la différenciation normales des cellules. Il peut donc stériliser ou tuer les insectes, détruire les parasites et éliminer les micro-organismes pathogènes ou responsables de la détérioration des aliments. Ainsi, la durée de conservation à l'étalage des aliments "frais" peut être prolongée; les viandes, la volaille et les épices peuvent être débarrassées des organismes pathogènes et les denrées peuvent être débarrassées des insectes. Par ailleurs, l'irradiation peut inhiber la germination des légumes-racines tels que les pommes de terre ou les oignons et peut retarder le mûrissement de certains fruits.

Le procédé, qui fait l'objet de recherches appliquées et d'évaluations toxicologiques depuis 40 ans, n'est pas encore largement utilisé. Récemment, cependant, les entreprises domestiques et internationales de fabrication de produits alimentaires ont montré un regain d'intérêt par suite de la décision annoncée en 1983 par la Commission du Codex Alimentarius des Nations Unies de déclarer nutritifs et sans danger les aliments traités par une dose de radiations inférieure à un certain seuil (10 kilograys) et de ne plus assimiler l'irradiation des aliments, aux fins de la législation, à un additif mais plutôt à un procédé. L'irradiation n'est pas encore utilisée au Canada, même si elle est déjà approuvée pour le traitement des pommes de terre, des oignons, de la farine de blé et des épices. Santé et Bien-être social Canada a élaboré un projet de loi où l'on propose d'accepter la position de la Commission des Nations Unies. Ceci permettrait d'accélérer le processus d'autorisation de traitement de chaque type de denrée puisqu'il ne serait plus nécessaire de procéder chaque fois à de longues et coûteuses épreuves toxicologiques. Il faudrait cependant obtenir des données précises portant sur le contrôle de la qualité du processus et sur le respect des normes pour chaque autorisation de traitement. Des règles précises portant sur l'étiquetage et sur l'utilisation d'un symbole international devraient également être respectées.

Au Canada, l'irradiation des aliments sera vraisemblablement adoptée, avec le temps, pour certaines applications précises, plutôt que de faire l'objet d'une utilisation généralisée. Certaines entreprises canadiennes sont intéressées à évaluer l'utilité de la méthode pour lutter contre les organismes pathogènes dans le poulet et les viandes,

pour purifier les épices, pour favoriser la stabilité des jus de fruit à l'étalage et pour prolonger la durée de conservation à l'étalage du poisson et des fruits frais. Le Japon, l'URSS, l'Afrique du Sud, les Pays-Bas, la Hongrie et Israel sont les seuls pays à autoriser la vente sur leurs marchés intérieurs des aliments qu'ils ont traités par irradiation. En avril 1986, la Food and Drug Administration des États-Unis (FDA) a approuvé l'utilisation de cette méthode pour la désinfection d'épices et d'enzymes séchées, pour la destruction de la trichine dans la viande de porc et pour la désinsectisation des fruits et légumes frais. Lorsque des protocoles d'inspection auront finalement été mis sur pied, la porte sera ouverte pour l'exportation de fruits tropicaux irradiés aux États-Unis et, par l'intermédiaire de ce pays, au Canada.

Les pays tropicaux qui exportent mollusques et crustacés, épices et fruits et légumes vers les pays tempérés du Nord s'intéressent particulièrement à l'utilisation des radiations ionisantes. Pour répondre aux exigences internationales d'hygiène alimentaire et de quarantaine, ces pays ont en effet besoin d'un outil qui leur permettra de lutter contre les organismes pathogènes présents dans le poisson et dans la viande et qui remplacera les fumigants pesticides dont l'usage sur les fruits et les légumes a récemment été interdit. Beaucoup de ces pays pourraient par ailleurs avoir recours à l'irradiation pour accroître le volume et la variété de leurs produits alimentaires d'exportation et pour améliorer la santé de leurs populations.

Grâce à la technologie d'irradiation et à la source d'énergie au cobalt-60 mise au point par la Société radiochimique de l'Énergie atomique du Canada Limitée (EACL), une société de la Couronne, le Canada est en mesure de répondre à cette demande. Trois formes de technologies concurrentes luttent pour se tailler une place sur ce marché : les radio-isotopes (cobalt-60 et césium-137), les accélérateurs linéaires d'électrons ou "linacs" fonctionnant à l'énergie électrique et les machines à rayons X. Comme l'irradiation produite par le cobalt-60 donne une pénétration plus profonde et plus uniforme, elle permet de traiter une plus grande variété de produits. Ainsi, la plupart des spécialistes de l'irradiation préfèrent cette méthode pour l'irradiation des aliments. Cependant, les progrès prévus dans le domaine des accélérateurs d'électrons à haute énergie rendront également cette technique utile pour le traitement des aliments même si le pouvoir de pénétration plus faible des faisceaux d'électrons limitera la taille et la forme des produits alimentaires qu'il sera possible de traiter.

La Société radiochimique de l'EACL est le chef de file mondial dans la production du cobalt-60 et est le principal fournisseur d'installations d'irradiation utilisant cette source d'énergie pour la stérilisation des produits biomédicaux à usage unique. Cette société de la Couronne a maintenant procédé à certaines modifications de sa technologie d'irradiation et est en mesure de fournir l'équipement, le système de contrôle du processus et la source d'énergie adaptée pour l'irradiation des aliments. Pour demeurer concurrentiels sur les marchés où l'on préfère d'autres méthodes d'irradiation, EACL et plusieurs autres entreprises canadiennes travaillent également à la mise au point de nouveaux accélérateurs linéaires à haute énergie.

Beaucoup d'entreprises étrangères, aidées par leurs gouvernements respectifs, s'efforcent actuellement de se tailler une place sur ce marché en plein essor dans les pays tropicaux. Elles proposent l'utilisation d'accélérateurs d'électrons ou d'autres types d'installations utilisant du cobalt-60 acheté au Canada ou ailleurs. Pour demeurer concurrentielle dans un tel contexte, l'industrie canadienne a besoin de l'attention et de l'aide immédiate du gouvernement. En offrant un ensemble connexe de biens et de services, les entreprises canadiennes pourraient accroître leurs chances de faire des ventes d'irradiateurs et en même temps faire profiter d'autres industries des avantages financiers procurés par ces dernières. La conclusion d'accords consortiaux entre les fournisseurs d'équipement d'irradiation, les experts-conseils, les firmes d'ingénieurs, les spécialistes de l'entreposage et de la réfrigération, les fournisseurs d'équipement et les négociants de produits alimentaires pourrait en outre présenter un avantage commercial et contribuer à accroître les débouchés du Canada pour le commerce avec les pays en voie d'industrialisation.

Le Canada pourrait bientôt devenir un importateur majeur d'aliments tropicaux irradiés. Mais les consommateurs accepteront-ils des aliments traités de cette façon? Nos clients étrangers éventuels veulent s'assurer que les Canadiens eux-mêmes sont prêts à acheter des aliments irradiés avant d'acheter notre technologie d'irradiation. L'accueil que feront les consommateurs à cette technologie demeure toujours une inconnue au Canada. Il nous faudra donc procéder à des essais de mise en marché de produits irradiés clairement identifiés afin de vérifier les réactions des consommateurs.

Le traitement des aliments au moyen de faibles doses de radiations a été très largement accepté par la communauté scientifique mais il a suscité la controverse dans le public et nous avons assisté à un début de polarisation des opinions concernant l'acceptabilité de cette technologie. La sécurité des travailleurs, le transport des isotopes et la production et l'élimination des isotopes par l'industrie nucléaire comptent parmi les questions qui alimentent le débat. Il existe certainement des risques, mais le transport et la sécurité des travailleurs font l'objet de contrôles très stricts mis en vigueur au Canada par la Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA) et à travers le monde par d'autres organisations semblables.

D'autres s'inquiètent de ce que les radiations ionisantes réduisent la qualité nutritive des aliments ou présentent des effets toxiques. Pourtant, tout porte à croire que l'effet des radiations ionisantes sur les graisses, les glucides et les protéines est minime, compte tenu des niveaux d'énergie généralement utilisés, et des essais d'alimentation ont permis de mesurer des qualités nutritives entièrement satisfaisantes. L'irradiation détruit effectivement une partie des vitamines contenues dans les aliments, mais moins que les autres méthodes actuellement en usage.

Des équipes multidisciplinaires de chercheurs ont procédé à des essais toxicologiques visant à évaluer les composés (produits de radiolyse) qui se forment en quantités infimes lorsque les radiations ionisantes brisent les liaisons de certaines molécules alimentaires. Des composés semblables existent dans les aliments non traités et dans les aliments traités par les méthodes classiques. Leur présence dans les aliments n'influe en rien sur la qualité de ces derniers. Des études d'alimentation portant sur des animaux, certaines s'étendant sur plusieurs générations, ont été

effectuées pour évaluer les risques d'anomalies congénitales, de cancer et de changements génétiques. Certaines études auraient laissé penser que les aliments irradiés peuvent avoir des effets mutagènes chroniques et influer sur la reproduction, mais ces résultats ont été mis en doute et réfutés par des équipes multidisciplinaires de chercheurs de plusieurs pays. L'évaluation scientifique, menée par des pairs, des méthodes utilisées et des résultats obtenus ainsi que les tentatives infructueuses de reproduction de ces travaux de recherche ont amené la communauté scientifique à refuser de donner foi à ces études. Néanmoins, les groupes d'intérêts qui dirigent le mouvement d'opposition dans le public insistent sur le fait qu'on a observé certains effets négatifs et qu'aucune étude à long terme, menée chez les humains, n'a encore réussi à prouver l'innocuité des aliments irradiés. Ces personnes jugent également qu'une nouvelle méthode de traitement des aliments étroitement liée au secteur de l'énergie nucléaire n'a pas sa raison d'être.

Pour que le Canada puisse tirer profit des débouchés offerts par la technologie de l'irradiation des aliments, quatre secteurs devront coopérer afin d'élaborer un plan d'action éclairé, bien défini et concerté. Nous voulons parler de l'industrie alimentaire, de l'industrie naissante de l'irradiation des aliments (y compris la Société radiochimique de l'Énergie atomique du Canada et d'autres entreprises jouissant de l'expérience voulue et partageant des intérêts complémentaires), des chercheurs des universités et de toute une gamme de ministères gouvernementaux dont les mandats touchent à divers aspects de la transformation des aliments, de l'hygiène et de l'inspection, du commerce, de l'aide à l'industrie, de l'aide à l'étranger et des relations internationales. Tous ces intervenants ont été réunis à l'occasion d'un atelier organisé par le Conseil des sciences du Canada. Les participants ont convenu à cette occasion qu'il était prioritaire de désigner un organisme fédéral qui serait chargé de la coordination des moyens d'action. Agriculture Canada a accepté de jouer ce rôle. Cependant, même si ce ministère a depuis mis sur pied un comité consultatif de l'irradiation des aliments, il n'a pas encore élaboré un plan d'action prévoyant la participation du gouvernement et du secteur privé. Voici quels devraient être les principaux éléments d'un tel plan d'action :

- Santé et Bien-être social Canada devrait terminer rapidement le processus réglementaire visant à approuver que l'irradiation des aliments soit considérée comme un procédé et non plus comme un additif alimentaire, et faire connaître publiquement les limites permises pour cette méthode en vertu de la Loi des aliments et drogues.
- Afin d'accélérer les procédures d'autorisation de traitement de denrées particulières, Santé et Bien-être social Canada devrait accorder la priorité aux demandes d'autorisation d'irradiation d'aliments et établir clairement la marche à suivre.
- Consommation et Corporations Canada devrait publier rapidement des directives claires concernant l'étiquetage.
- Les Fabricants canadiens de produits alimentaires devraient favoriser les discussions, dans le secteur privé, portant sur l'utilisation de l'irradiation des aliments et visant à fournir des renseignements objectifs et crédibles aux consommateurs.
- Le ministère de l'Expansion industrielle régionale devrait réévaluer son rôle en ce qui concerne l'irradiation des aliments et travailler de concert avec le ministère

des Affaires extérieures afin de commercialiser la technologie à l'étranger en encourageant la formation de consortiums capables de livrer de grandes installations informatisées de manutention des aliments axées sur le traitement par irradiation.

- Santé et Bien-être social Canada et Agriculture Canada devraient préciser les exigences de formation de leurs agents sur place et établir des protocoles d'inspection permettant d'assurer le respect des normes de traitement en vigueur dans les installations d'irradiation au pays comme à l'étranger et de vérifier l'acceptabilité des aliments importés irradiés aux fins de la quarantaine.
- Agriculture Canada, en sa qualité d'organisme fédéral directeur, devrait assurer la coordination des discussions avec le secteur privé et d'autres organismes gouvernementaux pour désigner les responsables des tâches suivantes :
  - mise en oeuvre d'un programme global d'information du public destiné aux consommateurs, aux membres de l'industrie de l'alimentation (transformation, distribution, emballage et manutention) et aux responsables des politiques et de la prise de décisions du gouvernement;
  - élaboration et financement d'essais portant sur une vaste gamme d'aliments irradiés et dont les résultats devraient être mis à la disposition de tous les utilisateurs éventuels de la technologie de l'irradiation;
  - détermination des besoins en documentation, de l'aide spécialisée et des méthodes nécessaires pour guider les utilisateurs potentiels de la technologie de l'irradiation des aliments et les importateurs d'aliments irradiés dans le labyrinthe des procédures d'inspection et d'autorisation de traitement des denrées.

CHAPITRE UN. LE POTENTIEL DE L'IRRADIATION DES ALIMENTS

Possibilités offertes

L'industrie alimentaire s'intéresse aujourd'hui énormément aux nouvelles techniques d'emballage et de transformation qui permettent de préserver le goût, la texture et l'apparence des aliments sans avoir recours à la chaleur ni à des additifs chimiques. Le traitement des aliments au moyen d'une source d'énergie électromagnétique intense, l'irradiation, est un exemple intéressant de ces techniques. Il consiste à exposer les aliments à l'action d'une forme d'énergie semblable à celle de la lumière. Cette énergie, parfois appelée énergie ionisante, traverse les produits sans y laisser de trace de radioactivité. Un traitement approprié des aliments à l'aide de radiations ionisantes peut donner un certain nombre d'effets différents. Il peut :

- prolonger la durée de conservation à l'étalage des aliments d'origine animale et végétale en détruisant les organismes responsables de leur détérioration, ce qui permet de réduire l'utilisation des substances chimiques servant normalement à leur préservation;
- éliminer les insectes dans le grain, les fruits et les épices entreposés et remplacer ainsi la fumigation exigée aux fins de la quarantaine par les pays importateurs d'aliments;
- détruire les parasites et les micro-organismes présents dans les aliments congelés, frais ou transformés;
- retarder le mûrissement de certains fruits et légumes et empêcher la germination de certains légumes-racines entreprosés comme les pommes de terre, les oignons, l'ail et les ignames;
- produire des denrées stériles pour entreposage sans réfrigération;
- raccourcir le temps de cuisson de certains aliments et en attendrir d'autres.

L'irradiation des aliments fait l'objet de recherches et d'évaluations toxicologiques depuis 40 ans mais son utilisation commerciale n'est pas encore largement répandue. Le traitement des aliments au moyen de faibles doses de radiations a été très largement accepté par la communauté scientifique mais il a suscité la controverse dans le public. Certains se sont en effet interrogés sur la sécurité du procédé, sur ses effets sur la qualité nutritive des aliments, sur sa viabilité commerciale ou même sur son utilité pure et simple.

Beaucoup d'entreprises alimentaires du Canada et de l'étranger s'intéressent à diverses applications de la technologie mais l'absence de politiques nationales claires et de lois internationales harmonieuses, l'insuffisance des informations permettant d'en évaluer la faisabilité économique et la crainte du rejet, par les consommateurs, des produits irradiés ont eu un effet dissuasif sur ces entreprises. Toutefois, trois événements récents ont eu pour effet d'accélérer la commercialisation de cette technologie au Canada et à l'étranger :

- en 1983, la Commission du Codex Alimentarius des Nations Unies a statué que des aliments exposés à une dose de radiations inférieure à un certain seuil étaient à la fois sûrs et nutritifs et qu'il n'était donc plus nécessaire de les soumettre à des essais toxicologiques. Elle a recommandé que les États membres adoptent cette directive et qu'aux fins de la réglementation, la nouvelle technologie ne soit plus

assimilée à un additif alimentaire mais plutôt à un procédé;

- l'interdiction, en 1984, de la fumigation au dibromure d'éthylène a rendu nécessaire l'élaboration d'une méthode de rechange pour respecter les exigences concernant la quarantaine;
- l'augmentation de la fréquence des maladies transmises par les aliments.

Un vaste marché mondial pour les installations d'irradiation des aliments est en train de se développer alors que beaucoup de pays s'apprêtent à adopter des lois approuvant l'utilisation de cette nouvelle technologie. Au Canada et dans d'autres pays industrialisés, la demande pour l'irradiation des aliments ne connaîtra qu'une croissance à long terme puisque la nouvelle technologie devra concurrencer des méthodes classiques déjà bien implantées. Dans les domaines où l'on perçoit des avantages évidents, l'adoption d'applications commerciales précises se fait lentement et par étapes. On l'utilise, par exemple, pour lutter contre les salmonelles dans le poulet, pour tuer les trichines dans la viande de porc, pour prolonger la durée de conservation à l'étalage de certains fruits, des pommes de terre et des oignons. À court terme, ce sont les pays exportateurs d'aliments qui seront les plus impatients d'utiliser cette technologie. Les pays tropicaux qui dépendent du commerce des fruits, des légumes, du poisson et de la viande pour leurs revenus d'exportation sont particulièrement intéressés. L'interdiction récente des fumigants utilisés pour les fruits et les épices et les nouvelles exigences concernant l'hygiène des viandes et du poisson aux ports d'entrée de ces produits ont obligé ces pays à chercher de toute urgence une technologie qui leur permettrait de répondre aux exigences internationales concernant la quarantaine. Certains d'entre eux ont choisi l'irradiation.

Le Canada est particulièrement en mesure de tirer profit de ces nouveaux débouchés puisqu'il a déjà fait ses preuves dans le domaine de la technologie de l'irradiation des produits en vrac. Au cours des 20 dernières années, la Société radiochimique de l'Énergie atomique du Canada Limitée (EACL), une société de la Couronne, a été le chef de file mondial dans le domaine des installations d'irradiation aux rayons gamma pour la stérilisation du matériel médical à usage unique. Le concept technologique, la méthode de contrôle du procédé et l'équipement sont fondés sur l'utilisation du radio-isotope cobalt-60 pour la production de rayons gamma. Cette source d'énergie ionisante est celle qui assure la pénétration la plus profonde et la Société radiochimique de l'EACL répond à 80 % de la demande mondiale pour cette source. Après y avoir apporté certaines modifications pour tenir compte de la fragilité du produit et des faibles doses d'énergie nécessaires, on a commencé à commercialiser cette technologie pour l'irradiation des aliments.

L'accélérateur linéaire d'électrons, ou linac, une machine fonctionnant à l'énergie électrique et produisant des faisceaux d'électrons, constitue une solution de rechange prometteuse pour l'irradiation des produits alimentaires moins volumineux. Contrairement aux rayons gamma, en effet, les électrons ne peuvent pénétrer en profondeur les produits denses ou volumineux. Plusieurs entreprises canadiennes travaillent à la mise au point de nouveaux linacs plus puissants qui permettront de traiter des aliments ayant les dimensions et la densité requises.

En sa qualité d'élément central d'une stratégie de transfert de la technologie, l'irradiation des aliments pourrait devenir un outil pour la promotion de biens et de services complémentaires canadiens. Des accords consortiaux pourraient inclure la formation des opérateurs, les études de faisabilité, les services d'ingénieurs-conseils, la gestion des systèmes alimentaires, l'entreposage, l'emballage et la réfrigération. En outre, cette contribution à la "valeur ajoutée" aurait pour résultat de consolider la position du Canada dans le domaine du commerce international des équipements et des produits agricoles.

Défis à relever

Pour pouvoir tirer profit des possibilités offertes par la technologie de l'irradiation des aliments, il nous faudra cependant faire face à la concurrence et abattre les obstacles économiques et sociaux qui existent toujours.

Nous devons concurrencer des entreprises des États-Unis et d'autres pays qui ont mis au point leurs propres systèmes et qui restreignent l'apport du Canada au simple approvisionnement en cobalt-60, n'assurant ainsi que des revenus minimums pour le Canada. Par ailleurs, le ministère de l'Énergie des États-Unis fait la promotion d'un autre radio-isotope, le césium-137, pour l'irradiation des aliments. Il est cependant peu probable que ce sous-produit d'un déchet de l'industrie américaine de l'armement nucléaire trouve beaucoup de partisans.

Finalement, certaines entreprises des États-Unis et d'Europe fabriquent déjà des accélérateurs d'électrons linéaires à faible énergie pour la transformation des films de plastique et des produits du caoutchouc et travaillent actuellement à la mise au point de linacs plus efficaces et plus puissants pour le traitement des aliments. Misant sur les succès remportés, elles ont déjà entamé des campagnes de promotion et de commercialisation.

Comme il n'existe encore que peu d'installations en opération, les entreprises manquent de données pratiques pour évaluer la rentabilité de l'utilisation de l'énergie ionisante pour le traitement de leurs produits particuliers, comparativement aux méthodes chimiques et aux autres méthodes de rechange. Par ailleurs, même si les entreprises et les gouvernements des pays tropicaux se montrent très intéressés à acheter une installation canadienne, beaucoup demandent de l'aide du gouvernement canadien pour défrayer les coûts d'une évaluation de la faisabilité économique avant de consentir à un tel investissement.

L'accueil que réserveront les consommateurs à l'irradiation des aliments est la question principale que doivent se poser toutes les personnes intéressées à l'utilisation de cette technique. Les exportateurs de fruits chiliens veulent avoir la certitude que les nord-américains achèteront leurs produits s'ils sont irradiés, aux fins de quarantaine, dans une installation canadienne. Le transformateur canadien de poulet veut recevoir l'assurance que les consommateurs seront prêts à payer pour des poulets débarrassés des micro-organismes pathogènes par irradiation. Le public doit tout d'abord être mieux informé et il faudra ensuite procéder à des essais de mise en marché de produits irradiés et clairement identifiés afin de vérifier les réactions des consommateurs.

CHAPITRE DEUX. LE TRAITEMENT DES ALIMENTS PAR RADIATIONS IONISANTES

Les effets de l'énergie ionisante

Les aliments sont régulièrement soumis à des traitements qui utilisent des sources d'énergie rayonnante ou électromagnétique présentant diverses longueurs d'ondes. Mentionnons par exemple les ondes infra-rouges utilisées normalement pour cuire et griller les aliments, les micro-ondes utilisées pour la cuisson rapide et le rayonnement solaire utilisé pour le séchage.

Toutes ces ondes font partie d'un spectre d'énergie électromagnétique qui s'étend des ondes radio de faible intensité aux ondes très courtes de forte intensité comme les rayons X et les rayons gamma (figure I). C'est à cette dernière catégorie que l'on a recours pour l'irradiation des aliments.

Les rayons gamma, les rayons X et les électrons accélérés sont connus sous le nom de radiations ionisantes puisque lorsqu'ils traversent les aliments, ils interagissent avec les molécules pour produire des ions positifs et négatifs. Ces particules instables se décomposent rapidement en radicaux libres extrêmement réactifs qui interagissent à leur tour entre eux et avec les molécules intactes. Les substances chimiques stables qui en découlent sont appelées produits de radiolyse.[3] Ces réactions dans les molécules des végétaux ont pour effet d'inhiber la germination et de retarder le mûrissement. Les grosses molécules comme l'acide désoxyribonucléique (ADN) sont particulièrement sensibles aux radiations ionisantes, lesquelles ont pour effet d'arrêter la division cellulaire et par conséquent de rendre stériles ou de tuer les organismes comme les parasites, les insectes, les larves, les bactéries, les spores de moisissures et les virus qui contaminent les aliments.[4] La dose de radiations nécessaire pour tuer un organisme est d'autant plus faible que cet organisme est plus complexe.[5]

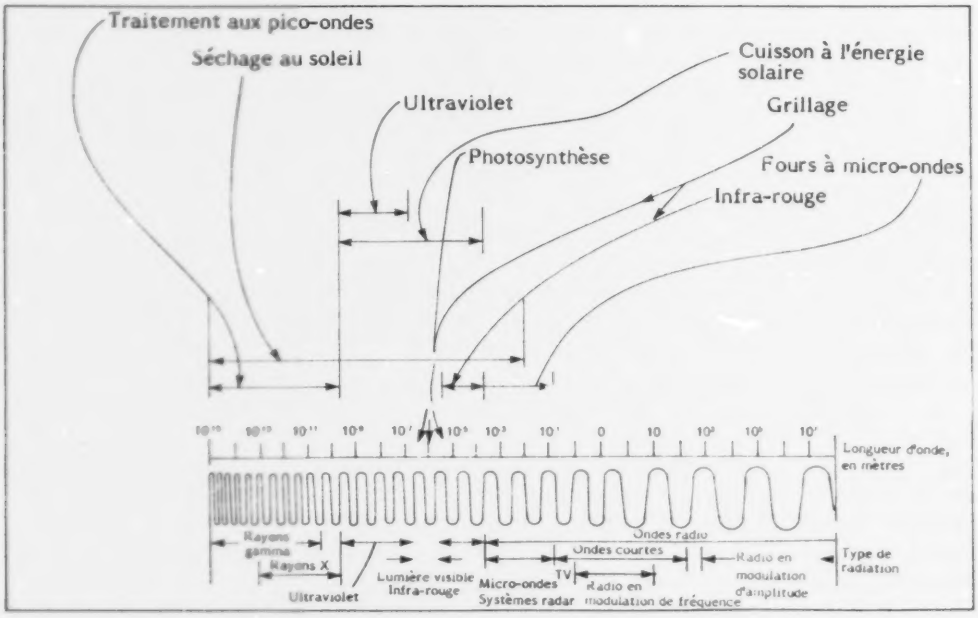
Les radiations ionisantes qui traversent les aliments provoquent des changements biochimiques mais ne laissent aucune trace de radioactivité. L'irradiation ne rend pas les aliments radioactifs, pas plus que la radiothérapie ne rend les patients cancéreux radioactifs. Les niveaux d'énergie utilisés sont en effet trop faibles pour induire la fission nucléaire.

Formes de technologie de l'irradiation

Il existe deux façons de produire des radiations ionisantes : au moyen de radio-isotopes (cobalt-60 ou césium-137) ou de machines électriques (accélérateurs linéaires d'électrons ou "linacs" et machines à rayons X).[6]

Alors que les radio-isotopes émettent continuellement et dans toutes les directions des rayons gamma ou des photons à haut niveau d'énergie, les accélérateurs linéaires produisent des faisceaux unidirectionnels de particules chargées, ou faisceaux d'électrons, et les machines à rayons X de grande puissance produisent un faisceau de photons. Les coûts d'investissement et d'exploitation élevés des machines à rayons X les rendent peu propices à l'irradiation des aliments.

Figure I. Irradiation des aliments par énergie électromagnétique



Même si le terme "radiation" est très général et peut englober des phénomènes tels que la lumière et les ondes radio, on l'utilise la plupart du temps pour désigner les radiations "ionisantes", c'est-à-dire celles qui peuvent produire des particules chargées dans les matériaux avec lesquels elles entrent en contact.

Source : Food Engineering, avril 1982

Les rayons gamma contiennent plus d'énergie que les faisceaux d'électrons et peuvent donc pénétrer plus profondément dans les objets denses. Cette pénétration à la fois plus profonde et plus uniforme des rayons gamma les rend efficaces pour le traitement d'une grande variété de produits de formes et de densités diverses. L'irradiation par rayons gamma est la seule technologie capable de traiter des produits volumineux comme les caisses de fruits et de légumes ou les carcasses d'animaux. Dans les cas où le produit est mince ou moins dense, le traitement au moyen d'accélérateurs linéaires à haute énergie peut constituer un choix concurrentiel.

Lorsqu'on les compare aux sources de radio-isotopes, les machines à faisceaux d'électrons présentent l'avantage d'être plus facilement adaptables aux chaînes de production très rapides. En outre, on peut en interrompre le fonctionnement à volonté. Lorsqu'elles sont fermées, ces machines n'émettent aucune radiation. Par contre, elles consomment beaucoup d'énergie électrique et dans les cas où l'électricité coûte cher

ou n'est pas disponible, les radio-isotopes peuvent constituer une solution de rechange rentable.

Radio-isotopes et technologie canadienne d'irradiation aux rayons gamma
Des deux isotopes utilisés pour l'irradiation aux rayons gamma, le cobalt-60 et le césium-137, le premier est de loin le préféré. Le ministère de l'Énergie des États-Unis produit le césium-137 par traitement des déchets provenant de l'industrie de l'armement nucléaire, ce qui a donné lieu à certaines réactions négatives de la part du public. Pour cette raison et du fait également que sa production et son utilisation présentent certains problèmes de sécurité, le césium-137 n'est pas largement utilisé comme source industrielle d'irradiation.[7]

Le cobalt-60, par contre, n'est pas un sous-produit de l'industrie nucléaire. Il est produit à des fins commerciales (pour stériliser les déchets, le matériel médical, les produits pharmaceutiques et pour traiter le cancer) car il entre dans la conception d'un type particulier de réacteur dont le Candu canadien constitue le meilleur exemple. Une des façons de ralentir et de contrôler la réaction dans un réacteur Candu est de placer des cylindres contenant du cobalt-59 autour du noyau du réacteur. Le cobalt-59 absorbe une partie des neutrons émis lors de la réaction nucléaire et a donc ainsi pour effet de freiner la réaction. Au bout de deux ans, tout le cobalt-59 est transformé en cobalt-60. Les radio-isotopes sont alors retirés du réacteur et remplacés par du cobalt-59. Le cobalt-60 est transformé en barres enveloppées d'une double gaine d'acier pour donner des cylindres de la taille d'un crayon et que l'on rassemble en batteries qui serviront de sources de radiations. À mesure qu'il se dégrade, en émettant des rayons gamma, le cobalt-60 se transforme en nickel stable.

Énergie atomique du Canada Limitée, une société de la Couronne, est réputée à travers le monde pour ses travaux de recherche et de développement dans le domaine des applications industrielles et médicales de la technologie nucléaire. Sa filiale, la Société radiochimique de l'EACL, produit et vend 80 % du cobalt-60 utilisé dans le monde. Au cours des 20 dernières années, elle a connu énormément de succès dans la mise au point et la commercialisation d'irradiateurs à rayons gamma servant à stériliser les produits biomédicaux (bandages, cathéters et gants de chirurgien). Ce procédé est maintenant devenu une solution de rechange intéressante à la stérilisation chimique depuis le bannissement de la fumigation à l'oxyde d'éthylène. On a procédé à certaines modifications des installations afin de tenir compte des faibles doses nécessaires pour l'irradiation des aliments et de la fragilité de ces derniers. Compte tenu de son excellente réputation et de la qualité de ses équipements et de ses installations et compte tenu également de l'importance de sa production de cobalt-60, la Société radiochimique de l'EACL est aujourd'hui en mesure de jouer un rôle de premier plan dans le domaine de la technologie de l'irradiation aux rayons gamma pour la transformation des aliments partout dans le monde.

La Société radiochimique de l'EACL offre plusieurs types d'irradiateurs, y compris des unités de laboratoire, des petites installations de recherche, divers systèmes à chargement manuel ou à alimentation automatique ainsi qu'une installation mobile montée sur une semi-remorque plate-forme. À titre d'exemple, mentionnons l'installation automatique d'irradiation qui est constituée de trois parties principales (Figure II) :

- une chambre d'irradiation faite d'épaisses parois de béton permettant d'absorber les radiations. Cette chambre contient un bassin d'eau désionisée dans lequel le cobalt-60 est plongé en dehors des périodes d'utilisation;
- un système de convoyeur mécanique permettant de transporter les aliments de l'entrepôt jusque dans la pièce et autour de la source;
- une source modulaire suspendue faite de cylindres de cobalt-60 radioactif munis d'une double gaine en acier; c'est la source de rayons gamma.

Dans ce système particulier, les produits préemballés ou en vrac sont placés dans des caisses qui sont transportées automatiquement dans la chambre d'irradiation. La source de cobalt-60 est alors retirée du bassin d'entreposage pour irradier les produits en boîte pendant que ces derniers circulent autour de la source. Lorsque le traitement est terminé, la source est replongée dans le bassin et les caisses sont retirées automatiquement de la chambre d'irradiation puis déchargées. La chambre d'irradiation est munie d'un système de sécurité qui verrouille les portes et plonge la source dans le bassin en cas de problème. Le traitement est contrôlé à partir d'un tableau informatisé situé dans la section d'entreposage.

Technologie des accélérateurs d'électrons — accélérateurs linacs

Les accélérateurs d'électrons ou accélérateurs linéaires (linacs) comportent une source d'énergie électrique, un tableau de contrôle et de sécurité, un accélérateur d'électrons et un système de déflexion et de dispersion du faisceau. Comme dans un tube à rayons cathodiques, le faisceau d'électrons est produit par un émetteur d'électrons et accéléré sous vide jusqu'au niveau d'énergie voulu. On transporte le produit à traiter à travers ce faisceau d'électrons sur un convoyeur, à une vitesse déterminée en fonction de la dose voulue. L'équipement est placé dans une pièce de béton à l'épreuve des radiations et comprend un système de sécurité qui arrête la machine dès que quelqu'un entre dans la chambre.

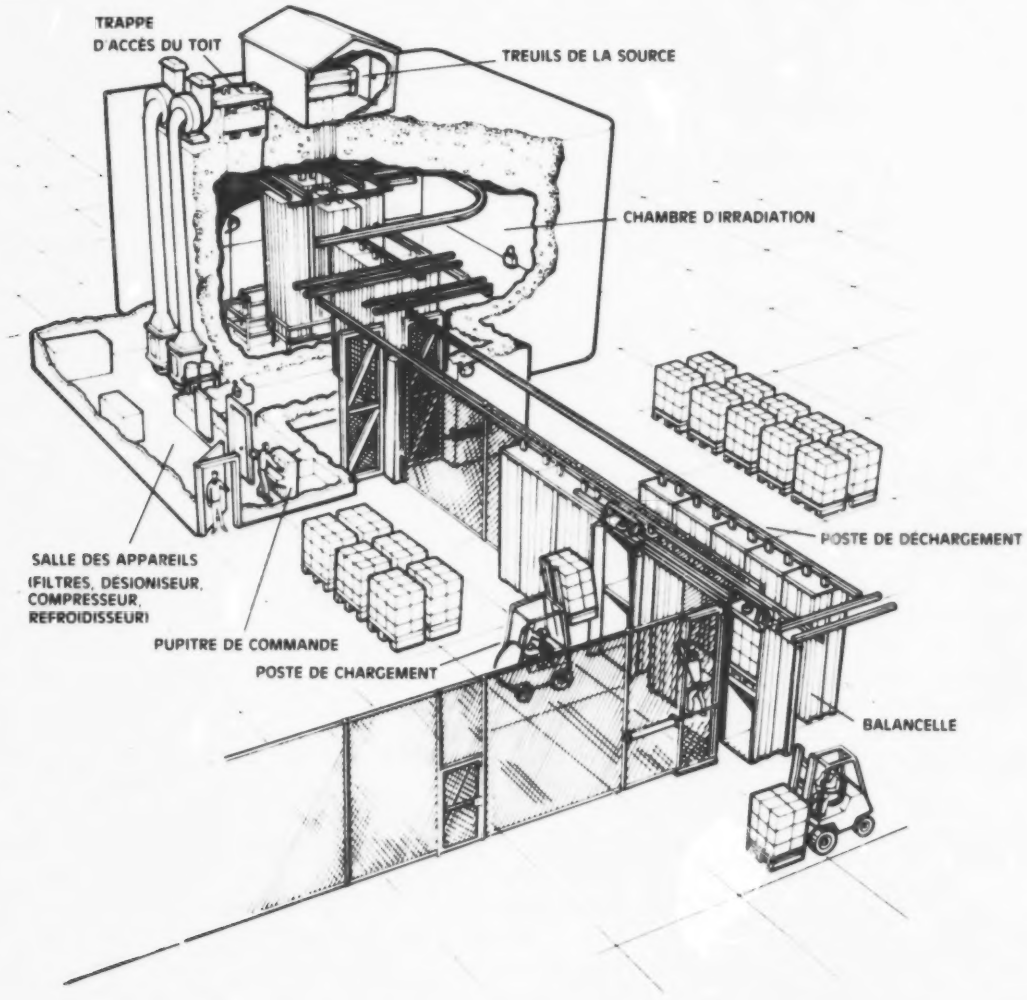
Les accélérateurs produisent des faisceaux d'électrons dont on peut faire varier le degré d'énergie et de puissance. On peut les subdiviser en sources d'électrons à faible énergie et en sources à haute énergie. Comme les électrons sont des particules chargées, ils interagissent facilement avec la matière. Leur pouvoir de pénétration est donc faible et diminue à mesure qu'augmente la densité du produit traité. Le pouvoir de pénétration des faisceaux d'accélérateurs d'électrons à faible niveau d'énergie varie d'environ 2 centimètres pour les viandes à 40 centimètres pour les épices, mais on peut le doubler en utilisant deux machines pour un traitement biface.

Le pouvoir de pénétration restreint des accélérateurs d'électrons à faible niveau d'énergie limite les types de produits que l'on peut traiter avec ces derniers. À l'heure actuelle, les sources d'électrons sont principalement utilisées pour agglutiner les enduits de plastique, vulcaniser le caoutchouc et stériliser les contenants. La croissance actuelle du marché de la stérilisation par radiations du matériel médical à usage unique et les possibilités offertes par l'irradiation des aliments stimulent le développement de linacs plus puissants et à niveau d'énergie plus élevé. Ces machines, même si elles ne sont toujours pas capables du même pouvoir de pénétration des aliments en vrac que les sources de rayons gamma, pourront devenir une solution concurrentielle pour la transformation des produits peu volumineux et des aliments préparés et emballés. Par

exemple, cette technologie serait appropriée pour le traitement des petits fruits, des champignons, des filets de poisson, des saucisses et des viandes transformées. En outre, il sera possible de traiter des volumes élevés d'aliments en particules tels que les grains et les fines herbes en leur faisant traverser un "rideau" d'électrons produit par deux machines à faisceaux entrecroisés. EACL et au moins une autre entreprise canadienne, Accelerator Associates, travaillent à la mise au point et à la fabrication de ce genre d'installation.

Technologie des machines à rayons X ("Bremsstrahlung")
Lorsque le faisceau d'électrons produit par un accélérateur linéaire est projeté contre une cible de métal appelée convertisseur Bremsstrahlung, on obtient des rayons X. Ces rayons X ont un pouvoir de pénétration comparable à celui des radiations gamma. On continue à travailler à la mise au point de ces machines mais le procédé ne semble pas encore pratique pour l'irradiation commerciale des aliments car les machines à rayons X coûtent cher et sont encore très inefficaces. Toutefois, certaines innovations techniques pourraient finir par rendre cette technologie rentable à l'avenir pour le traitement en masses de produits de grande valeur et de forte densité.

Figure II. Irradiateur automatique d'aliments sur palettes



Source : Société radiochimique de l'Énergie atomique du Canada Limitée

CHAPITRE TROIS. UTILITÉ DE L'IRRADIATION DES ALIMENTS

Doses utilisées

On a établi trois catégories de doses donnant des effets différents énumérés au tableau I. La plupart des utilisations de l'énergie ionisante pour les aliments, à l'exception de la stérilisation, nécessitent des doses allant de faibles à moyennes, c'est-à-dire de moins de 10 kilograys. Les aliments traités de cette façon doivent toujours être réfrigérés.

Les doses les plus faibles, c'est-à-dire de 0,01 à 1 kilogray, servent à la "radurisation" des aliments. À ce niveau minimal, l'irradiation inhibe la germination des légumes-racines et retarde le mûrissement des fruits. Elle permet également de stériliser les insectes et de tuer leurs oeufs et leurs larves.

Les doses moyennes, entre 1 et 7 kilograys, donnent une radio-pasteurisation ou "radicidation" des aliments. Ce niveau de traitement permet de réduire le nombre d'organismes pathogènes ou responsables de la détérioration des aliments. Le procédé est donc utile pour prolonger la durée de conservation à l'étalage de certains aliments et diminuer le nombre d'organismes pathogènes contenus dans d'autres.

Les doses les plus élevées, habituellement supérieures à 10 kilograys, produisent une stérilisation ou "radappertisation" des aliments. On les utilise pour le traitement des aliments scellés hermétiquement afin de réduire les quantités de micro-organismes vivants à des niveaux qui permettront l'entreposage du produit sans réfrigération pendant plusieurs mois. Cette technique s'apparente à la stérilisation thermique des aliments en conserve. L'application commerciale de ce procédé n'est pas envisagée à l'heure actuelle car les doses nécessaires sont plus élevées que les normes internationales actuellement recommandées. Des changements pourraient cependant survenir à mesure que les recherches se poursuivent dans ce domaine.

Effets des traitements

Remplacement des fumigants

Un des principaux avantages de l'irradiation des aliments est la possibilité qu'elle offre de remplacer les fumigants aujourd'hui interdits pour répondre aux exigences concernant la quarantaine. Comme les insectes sont capables de causer des pertes importantes de récolte, des mesures législatives ont été adoptées partout dans le monde pour prévenir leur migration. Des règles de quarantaine sévères exigent l'élimination des insectes contenus dans les fruits, les légumes, les fines herbes et les épices exportés sur les marchés internationaux. En outre, la plupart des pays imposent des règles strictes d'hygiène pour les condiments, les épices et les fines herbes qui sont normalement fortement contaminés par des micro-organismes.

Jusqu'à maintenant, la fumigation avec des gaz toxiques constituait le principal moyen de lutter contre les micro-organismes et les ravageurs des produits frais et déshydratés. Le principal produit chimique utilisé pour la fumigation était le dibromure d'éthylène. Ce produit, que l'on soupçonne d'avoir des effets carcinogènes, est dangereux pour les travailleurs qui l'utilisent et peut présenter un risque pour les consommateurs puisqu'il laisse des résidus sur les aliments traités. Ce pesticide présente également des risques pour l'environnement. Tous ces problèmes ont amené

Tableau I. Doses utilisées pour l'irradiation des aliments

Effet du traitement	Dose (kilograys)
(doses faibles)	
a) Inhibition de la germination des pommes de terre, des oignons, etc.	0,05-0,15
b) Stérilisation des insectes afin de prévenir l'émergence ou la propagation des adultes	0,10-0,25
c) Destruction des insectes, y compris les oeufs et les larves	0,25-0,75
d) Destruction des parasites (helminthes, nématodes, y compris Trichinella spiralis)	0,25-0,50
e) Ralentissement du mûrissement de certains fruits et légumes	0,25-1,0
f) Réduction des populations des bactéries communes responsables de la détérioration de la viande, de la volaille et des fruits de mers frais	0,50-1,0
(doses moyennes)	
a) Réduction des populations de bactéries et de moisissures responsables de la détérioration des viandes rouges, de la volaille et des fruits de mer "frais" et des produits primaires (p. ex., petits fruits)	1-3
b) Réduction des moisissures dans les produits de boulangerie	2-4
c) Retard de l'ouverture du chapeau et de la détérioration des champignons	2-4
d) Destruction d'une grande quantité de bactéries pathogènes (p. ex., Salmonella) dans les produits périssables d'origine animale (p. ex., poudres de lait et d'oeufs), et dans les aliments congelés (p. ex., cuisses de grenouilles, crevettes, oeufs)	3-7
e) Stérilisation des produits emballés, des épices, etc.	3-7
(doses fortes)	
a) Amélioration de la réhydratation des légumes déshydratés, etc.	10-60
b) Stérilisation des viandes de "faible acidité", de la volaille et des fruits de mer cuits et transformés et emballés hermétiquement	10-50
c) Réduction ou élimination de la contamination par les virus	10-100

Source : A. Herer, "Industrial Economics of Irradiation", Université McGill, mémoire de maîtrise en administration, inédit, pp. 102 et 103. (reproduit avec l'aimable autorisation de l'auteur).

l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis à ordonner d'urgence l'interdiction de l'utilisation du dibromure d'éthylène pour la fumigation des sols en septembre 1984. L'EPA annonçait du même coup que toutes les autres utilisations principales de ce produit seraient graduellement éliminées avant septembre 1985. À l'heure actuelle, le bromure de méthyle, une substance chimique apparentée, est toujours accepté mais pourrait très bientôt aboutir sur la liste des produits interdits à cause de leur toxicité. Beaucoup d'autres pays, y compris le Canada, ont adopté des mesures législatives semblables.

À la suite de ces décisions, les pays pour lesquels l'exportation des épices, des fines herbes et des produits frais constitue la principale source de devises étrangères ont recherché fébrilement des solutions de rechange aptes à remplacer la fumigation et qui, de préférence, n'utiliseraient pas un traitement à la chaleur. Le traitement à la chaleur des épices et des fines herbes élimine en effet leur saveur caractéristique et les trempages dans l'eau chaude utilisés pour désinsectiser les fruits comme les mangues ou les papayes réduisent leur qualité. Comme l'irradiation des aliments peut être considérée comme un traitement "à froid", comme elle peut éliminer les micro-organismes qui contaminent les aliments et comme elle peut servir à stériliser ou à tuer les insectes adultes ainsi que leurs larves et leurs oeufs, elle constitue une solution de rechange extrêmement intéressante. L'utilisation des radiations ionisantes pour remplacer les gaz toxiques aux fins des exigences de quarantaine réduirait les quantités de résidus chimiques actuellement présentes sur tous les produits tropicaux, les fines herbes, les épices et les condiments importés au Canada.

Réduction des organismes pathogènes dans la viande rouge et la volaille

Au nombre des utilisations importantes de l'irradiation des aliments, la deuxième en importance pourrait s'avérer extrêmement intéressante pour le Canada. Il s'agit de la réduction des maladies transmises par la viande, le poisson et la volaille. Les principales maladies sont la salmonellose et la campylobactériose, mais d'autres maladies comme la shigellose, la trichinose, le ténia et la toxoplasmose préoccupent également les responsables de l'hygiène publique.

Les maladies causées par les aliments infectés ont toujours été endémiques dans les pays en développement. Cependant, leur fréquence est en hausse dans les pays industrialisés. Les responsables américains de l'hygiène publique ont signalé qu'au cours des 16 dernières années, la fréquence des cas de salmonellose a doublé pour atteindre jusqu'à 40 000 cas par année.[8] Au Canada, le nombre annuel de cas de salmonellose a plus que doublé, passant de 4 280 en 1970 à 8 704 en 1979.[9] En outre, on pense que ces chiffres ne représentent qu'environ 3 % du nombre total de cas qui existent. En plus d'accroître les coûts des soins de santé, les maladies comme la salmonellose ou la campylobactériose entraînent également d'autres pertes attribuables à la réduction des heures de travail et à l'élimination des aliments suspects. Le coût annuel de l'ensemble des maladies transmises par les aliments au Canada a été évalué entre 40 et 160 millions de dollars.[10]

La consommation d'aliments contaminés par Salmonella ou Campylobacter engendre des infections gastro-entériques pouvant varier de légères à graves. Les cas particulièrement sérieux nécessitent l'hospitalisation du patient et la maladie peut

aller jusqu'à causer la mort des enfants et des personnes âgées. Un chercheur de la Direction générale de la protection de la santé (Santé et Bien-être social Canada) a récemment évalué à 763 environ le nombre annuel de morts attribuables à la salmonellose au Canada.[11]

La Direction de l'inspection des aliments d'Agriculture Canada a décidé de faire de la lutte contre la salmonellose une priorité. Même si la viande de porc et de boeuf peut aussi contenir ces bactéries pathogènes, la lutte a surtout été axée sur la volaille et les produits de la volaille, lesquels présentent le taux de contamination le plus élevé. Il est difficile de déterminer quels sont les secteurs qui devraient être étudiés en priorité car la contamination peut survenir à diverses étapes de la chaîne de production et de vente. Les mesures d'hygiène appliquées dans les installations de transformation ne peuvent à elles seules éliminer tous les organismes pathogènes de la volaille et de la viande rouge fraîches.

L'irradiation des aliments du bétail contribuerait à réduire les populations d'organismes pathogènes dans les viandes rouges et la volaille puisque les aliments contaminés sont une des sources de l'infection par Salmonella. La façon la plus sûre d'éliminer les micro-organismes et d'obtenir un produit fini salubre serait d'avoir recours à la radicidation, c'est-à-dire à l'irradiation à doses moyennes, après l'emballage. Les détaillants, les restaurateurs et les consommateurs devraient cependant toujours observer rigoureusement les règles de manutention et de cuisson de ces aliments. Une fois les emballages ouverts, les aliments risquent en effet d'être contaminés à nouveau par des ustensiles ou des planches à découper infectées.

Prolongation de la durée de conservation à l'étalage

L'irradiation peut prolonger la durée de conservation à l'étalage des produits "frais" de plusieurs façons. Par exemple, elle peut préserver des fruits, des légumes, des viandes et du poisson en diminuant le nombre de micro-organismes (bactéries, spores de moisissures et champignons) qu'ils contiennent et qui peuvent entraîner leur détérioration. De faibles doses d'irradiations peuvent aussi remplacer les produits chimiques utilisés pour inhiber la germination et la détérioration subséquente des tubercules et des bulbes (par exemple, pommes de terre, ignames et oignons). Finalement, le procédé peut retarder le mûrissement après récolte de plusieurs fruits comme les cerises douces, les abricots, les fraises, les figues, les mangues, les bananes et les papayes.

L'utilisation de l'irradiation pour prolonger la durée de conservation des aliments présente un certain nombre d'avantages possibles. Premièrement, elle permettrait de prolonger la période de vente ainsi que la période de transformation après la récolte. Les transformateurs réaliseraient des économies puisqu'ils ne seraient plus contraints de faire des heures supplémentaires pour congeler, mettre en conserve ou mariner les aliments saisonniers périssables. Cette idée a déjà été mise à profit au Japon, dans le cas des pommes de terre, que l'on peut conserver plus longtemps avant d'en faire des croustilles ou d'autres produits.

Les consommateurs bénéficieraient d'une plus grande stabilité des prix ainsi que d'un choix plus vaste de produits, y compris de nouveaux fruits et légumes exotiques, pendant toute l'année. Les aliments périssables comme les fraises ou les champignons verraient leur période de conservation à la maison prolongée. Les fruits dont le

mûrissement est ralenti par de faibles doses d'irradiation auraient un meilleur goût et une meilleure texture, puisqu'ils pourraient être cueillis plus mûrs. Les nitritres, utilisés pour la salaison et la préservation des viandes et que l'on soupçonne d'avoir un effet carcinogène, pourraient être réduits ou même éliminés.

La prolongation de la durée de conservation à l'étalage permettrait à des produits qui se gâtent normalement rapidement (p. ex., les fruits) d'être transportés par des moyens moins coûteux, par exemple, en bateau plutôt qu'en avion. En outre, certains produits pourraient être expédiés à l'état "frais" vers des marchés plus éloignés et se vendre plus cher que les produits transformés selon les méthodes habituelles. Par exemple, on sait que le poisson se vend plus cher lorsqu'il est frais que lorsqu'il est congelé. Le prolongement de trois jours seulement de la durée de conservation du poisson canadien nous donnerait accès à de vastes marchés intérieurs aux États-Unis et au Canada.

La prolongation de la durée de conservation permettrait également aux transformateurs d'accroître les volumes de leurs livraisons aux grossistes et aux détaillants tout en diminuant la fréquence de leurs livraisons. Les grossistes et les détaillants pourraient entreposer les produits pendant plus longtemps et réduire les pertes dues à la détérioration.

Avantages pour les fabricants

L'irradiation présente également certains avantages pour les fabricants. Par exemple, les raisins donnent davantage de jus, le blé donne un pain plus volumineux, l'orge donne davantage de malt, les légumes et les fruits déshydratés se réhydratent plus rapidement, les haricots secs prennent moins de temps à cuire et certaines viandes deviennent plus tendres.[12] Ces résultats présenteront peut-être un intérêt pour l'industrie de la transformation des aliments, mais l'adoption de l'irradiation pour ces raisons dépendra de son coût et de ses avantages en comparaison des méthodes classiques.

Limites du traitement

La sensibilité à l'irradiation peut varier selon l'aliment et même, dans le cas des végétaux, selon le cultivar. Des doses trop élevées pour un aliment donné peuvent en modifier la saveur, l'odeur, la texture et la couleur.

L'irradiation inadéquate des fruits et des légumes peut provoquer un mûrissement inégal, des taches sur la peau et un pourrissement précoce. La Dole Fresh Fruit Company fait état d'un nombre important de cas vérifiés de détérioration des avocats, des concombres, des citrons, des limettes, des olives et des poivrons dus à l'irradiation.[13] Les produits riches en protéines et qui contiennent de l'eau sont particulièrement sensibles à l'altération de la saveur. Les produits laitiers se prêtent donc mal à l'irradiation. La stérilisation des viandes par irradiation peut également provoquer l'altération de la saveur ainsi que des odeurs désagréables. Le problème peut cependant être amoindri par la congélation du produit et l'irradiation en emballages sous vide, en l'absence d'oxygène. L'irradiation provoque également un raccourcissement des molécules de pectine, leur enlevant ainsi leur pouvoir gélifiant. Une dose élevée de radiations peut finalement donner un goût de caramel brûlé aux aliments à teneur élevée en sucrose.

Comme l'irradiation a pour effet d'empirer les défauts et les blessures, les produits doivent être traités peu après la récolte ou l'abattage et avant d'être trop contaminés.[14]

Même si l'irradiation peut réduire ou éliminer les populations initiales de micro-organismes, elle ne laisse aucun résidu capable de protéger le produit de la recontamination due à une manipulation inappropriée. À défaut de pratiques adéquates d'entreposage, de réfrigération et d'emballage, on risquera donc d'assister à une réinfection ou à une réinfestation du produit. Beaucoup de produits sont pré-emballés avant d'être traités.

CHAPITRE QUATRE. SÉCURITÉ ET NUTRITION

L'histoire de l'irradiation des aliments est truffée de controverses, d'opinions contradictoires et de politiques antagonistes. Même si on a déjà consacré énergie, temps et argent pendant 40 ans pour la recherche visant à déterminer les utilisations commerciales de cette technologie, les divergences d'opinions persistent toujours aujourd'hui quant à sa sécurité.

Le problème de la sécurité peut être subdivisé en deux éléments importants : la sécurité de la technologie elle-même et l'innocuité des aliments irradiés. Dans certains cas, la conviction que toute technologie liée à l'industrie nucléaire est essentiellement dangereuse pourra influer sur l'opinion que l'on se fait de l'acceptabilité de la technologie de l'irradiation des aliments.

L'équipement d'irradiation

À cause des risques que peut présenter la technologie de l'irradiation, les organismes gouvernementaux de réglementation de l'énergie nucléaire comme la Commission de contrôle de l'énergie atomique du Canada (CCEA) ont adopté des règles, des règlements et des systèmes d'inspection très stricts. Au Canada, la production, le transport, l'utilisation et la récupération des produits radioactifs sont réglementés en vertu de la Loi sur le contrôle de l'énergie atomique. À l'heure actuelle, la CCEA fournit des lignes directrices à toute organisation désireuse de construire une installation d'irradiation gamma. Après s'être assurée que toutes les règles prescrites par la Loi sont respectées, la CCEA émettra un permis d'exploitation. Deux fois par année, on procédera à un examen des registres, des doses employées et des dispositifs de sécurité (y compris les signaux avertisseurs, les systèmes de verrouillage et les détecteurs de fumée et d'incendie) pour s'assurer du respect des normes établies. La CCEA exige également que les employés des installations d'irradiation gamma suivent avec succès un cours de formation spécial.

En avril 1986, la CCEA a publié un document de consultation afin d'obtenir les commentaires du public concernant l'élaboration d'une réglementation plus précise et plus complète. Les règles modifiées, qui entreront probablement en vigueur à la fin de 1988, prévoieront un système de mise en service des installations d'irradiation gamma comportant trois étapes : délivrance d'un permis pour l'emplacement, incluant une période de consultation du public; délivrance d'un permis de construction, prévoyant entre autres la vérification des plans et des mesures de sécurité; délivrance d'un permis d'exploitation exigeant la description des qualifications du personnel, des services de dosimétrie et d'autres aspects du projet.

Dans le cas des accélérateurs d'électrons et des machines à rayons X, le problème de la sécurité ne se pose que lorque les machines fonctionnent. Il s'agit donc essentiellement de protéger les opérateurs au moyen de murs de protection en béton et de systèmes de verrouillage de sécurité qui interdisent l'accès à la chambre d'irradiation pendant le fonctionnement de l'appareil. Comme ni les linacs ni les machines à rayons X ne font appel à la radioactivité, ce sont les gouvernements provinciaux qui sont responsables dans leur cas de l'attribution des permis, de la mise en vigueur de la réglementation concernant la protection des employés et de l'environnement ainsi que de l'inspection des installations.

Aux fins du transport, les radio-isotopes déjà enveloppés d'une double gaine d'acier sont placés dans des fûts en acier et en plomb blindés conçus pour résister aux pires accidents, y compris les collisions, les perforations et l'exposition au feu et à l'eau. EACL garantit la récupération de tout le cobalt-60 à la fin de sa durée de vie utile, sur demande de l'utilisateur. Le cobalt-60 ainsi récupéré est entreposé par l'EACL jusqu'à sa complète transformation en nickel stable.

Les risques auxquels sont exposés les travailleurs des installations d'irradiation ont été réduits au minimum par l'imposition de mesures de protection qui se recoupent l'une l'autre et d'un programme de formation spécialisée destiné aux employés. Une fois la source en place dans une installation d'irradiation aux rayons gamma, le seul risque pour les humains est celui d'une exposition directe aux radiations dans la chambre d'irradiation. Ce danger est écarté lorsque la source d'irradiation n'est pas utilisée puisqu'elle est remisée derrière un mur de béton de six pieds d'épaisseur ou plongée dans un bassin d'entreposage. Comme la source de radiations ne présente un danger que lorsqu'elle est exposée, toutes les installations d'irradiation aux rayons gamma sont munies de systèmes complexes interdisant l'entrée dans la chambre d'irradiation pendant les traitements.

Les aliments traités par radiations ionisantes

Lorsque le public s'interroge sur la sécurité d'une nouvelle substance ou d'une nouvelle technologie, il s'attend habituellement qu'on lui réponde par un oui ou par un non. Cependant, la sécurité n'est pas une absolue; c'est une variable relative qui évolue sans cesse. On ne peut aborder la question de la sécurité qu'en termes de risques possibles présentés par un procédé ou par une substance. Ceci dit, les chercheurs risquent fréquemment d'exprimer des opinions contradictoires concernant la nature et le niveau des risques courus. Ils pourront également diverger d'opinions sur la validité des méthodes d'évaluation du risque. L'incertitude est un élément indissociable de la science et l'objectif de toute discipline scientifique est de déterminer les éléments d'incertitude qui devront faire l'objet de recherches ultérieures. C'est cette absence de certitude absolue qui a contribué à alimenter le débat public concernant l'acceptabilité de l'irradiation des aliments. C'est au public qu'il revient de choisir entre les diverses techniques disponibles et les risques relatifs qu'elles présentent. C'est aussi le public qui, à la limite, doit décider du niveau de risque acceptable.

Les personnes qui s'objectent à l'irradiation des aliments pour des raisons de sécurité et de nutrition s'inquiètent de ce que les autorités et l'industrie ne disposent pas de renseignements suffisants pour garantir l'innocuité ou les qualités nutritives des aliments traités. Elles soutiennent que l'irradiation des aliments laissera des sous-produits potentiellement dangereux et abaissera la valeur nutritive de ces aliments.

Les personnes en faveur du procédé répondent que l'irradiation a fait l'objet d'évaluations et de tests rigoureux pendant 40 ans, c'est-à-dire plus longtemps que n'importe quel autre procédé de transformation des aliments comme la mise en conserve ou la congélation. Elles soutiennent que les recherches ont démontré que les aliments ainsi traités sont sains, qu'ils sont non seulement sûrs mais aussi nourrissants.

Recherche

L'idée de traiter les aliments aux radiations ionisantes n'est pas nouvelle. En fait, les craintes suscitées par la trichinose avaient poussé le ministère de l'Agriculture des États-Unis à faire breveter en 1921 un procédé d'irradiation des aliments utilisant les rayons X afin de détruire les trichines dans le porc. En France, en 1930, le chercheur Otto Wust déposait la première demande complète de brevet pour le traitement des aliments aux radiations ionisantes. Certaines entreprises alimentaires américaines ont entrepris des projets de recherche sur l'irradiation des aliments au cours des années 1930, mais le coût des radio-isotopes et l'inefficacité des accélérateurs qui existaient à cette époque rendaient cette technique inefficace.[15]

La Deuxième Guerre mondiale a donné une nouvelle impulsion aux recherches sur l'irradiation des aliments. En 1942, à la demande de l'armée américaine, le Massachusetts Institute of Technology a commencé les essais d'utilisation de l'énergie ionisante pour l'amélioration des rations des militaires. Après 1945, la construction de réacteurs nucléaires comme celui d'Énergie atomique du Canada, à Chalk River, a rendu les radio-isotopes moins chers et plus faciles à obtenir. Le klystron, tube électromagnétique inventé lors de la mise au point du premier radar par les Britanniques, a été adapté pour former le coeur d'accélérateurs d'électrons plus efficaces.[16] Par suite de ces travaux, au cours des années 1950 et 1960, les recherches fondamentales et les épreuves portant sur la nutrition d'animaux avec des aliments traités se sont intensifiées dans plusieurs pays, y compris la Grande-Bretagne, la France, le Canada et les États-Unis. Dans le cadre de la politique dite "Atoms for Peace", en 1955, l'armée américaine entreprenait une décennie d'études sur la salubrité des aliments traités à des doses de stérilisation. Aux États-Unis, environ 90 groupes de chercheurs des universités, du gouvernement et du secteur privé participaient à ces recherches à la fin des années 1950.[17]

Toutefois, en 1958, le Food and Drug Directorate des États-Unis apportait un important changement à la Food, Drug and Cosmetics Act. Cet amendement sur les additifs alimentaires, aussi connu sous le nom de clause Delaney, rendait obligatoire la tenue de nouvelles épreuves toxicologiques sur les additifs pour aliments. Comme en vertu de cet amendement, le traitement par radiations ionisantes devait être assimilé, aux fins de la réglementation, à un additif alimentaire, les aliments complets irradiés devraient dorénavant faire l'objet de rigoureuses épreuves d'innocuité menées sur des animaux vivants. Cet amendement a eu d'importantes répercussions sur la recherche effectuée dans le domaine et sur le processus d'autorisation des aliments irradiés.

L'irradiation devait en peu de temps être assimilée à un additif dans beaucoup d'autres pays, y compris le Canada. Pour répondre aux nouvelles exigences, des équipes multidisciplinaires de chercheurs ont analysé les effets de différentes doses de radiations sur divers produits alimentaires et ont travaillé pendant des décennies à évaluer les qualités nutritives et l'innocuité des aliments irradiés.

En 1971, sous le parrainage conjoint de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et de l'Agence de l'énergie nucléaire de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE), environ 24 pays se sont regroupés pour

coordonner les recherches sur l'irradiation des aliments. Dirigé à partir du Centre fédéral pour la nutrition de Karlsruhe, en Allemagne de l'Ouest, ce Projet international de recherche sur l'irradiation des aliments a permis de coordonner la recherche portant sur les effets de doses de radiations atteignant un maximum situé juste en deçà des niveaux de stérilisation. Des travaux complémentaires portant sur des doses plus élevées ont été réalisés dans le cadre d'études à long terme menées par les laboratoires Natick de l'armée américaine.

Les recherches (abordant tous les aspects de la nutrition et de la toxicologie) menées un peu partout dans le monde entre 1970 et 1981 dans le cadre du Projet international avaient pour objectif d'établir des normes internationales pour la Commission du Codex Alimentarius des Nations Unies. Cette dernière, fondée au début des années 1960, compte aujourd'hui 122 pays membres. Elle comporte des comités qui établissent les normes internationales et les codes de pratiques portant sur tous les aspects de l'alimentation. En 1964, le Comité du Codex sur les additifs alimentaires mettait sur pied un comité mixte d'experts sur l'irradiation des aliments (CMEIA). Le CMEIA est une équipe internationale de chercheurs spécialisés en toxicologie, en pathologie, en hygiène publique, en microbiologie et en nutrition qui se rencontrent environ tous les quatre ans pour procéder à l'examen des nouvelles recherches effectuées sur l'irradiation des aliments. À leurs rencontres de 1976 et de 1980, les membres du Comité ont analysé des travaux parrainés par le Projet international et d'autres organismes internationaux et ont recommandé l'adoption de nouvelles normes du Codex dans ce domaine. En juillet 1983, la Commission du Codex Alimentarius adoptait une norme générale pour les denrées alimentaires irradiées ainsi qu'un code de bonne pratique relatif aux installations d'irradiation. En vertu de cette décision, l'irradiation des aliments n'était dorénavant plus assimilée à un additif mais plutôt à un procédé. La Commission concluait que :

> L'irradiation de toute denrée alimentaire jusqu'à une dose globale moyenne de 10 kGy ne présente aucun risque d'ordre toxicologique et n'introduit pas de difficultés particulières d'ordre nutritionnel ou microbiologique; il s'ensuit que l'examen toxicologique des aliments ainsi traités n'est plus nécessaire.[18]

Toxicologie

Les changements apportés à la réglementation un peu partout dans le monde à la fin des années 1950 reflétaient la volonté des responsables d'obtenir des renseignements plus détaillés sur les effets de l'irradiation des aliments.

Les autorités devaient décider des moyens les mieux appropriés pour établir avec une certitude raisonnable que l'irradiation des aliments ne présenterait aucun danger. Elles ont donc tout d'abord exigé que les effets de l'énergie ionisante, un procédé, soient déterminés au moyen des méthodes toxicologiques utilisées pour déterminer les effets des additifs alimentaires -- des substances chimiques discrètes. Il est vrai que l'irradiation, comme l'utilisation d'additifs, entraîne l'apparition dans les aliments de nouvelles substances chimiques. Cependant, toutes les méthodes de transformation des aliments provoquent des changements moléculaires et l'apparition de nouveaux composés dont certains peuvent s'avérer toxiques. Dans le cas des procédés de nature thermique (cuisson, déshydratation et congélation), ces nouveaux composés sont appelés

produits de thermolyse. Lorsqu'il s'agit d'irradiation, on les appelle produits de radiolyse. Puisque "environ 6 sur 10 millions de liaisons chimiques présentes dans les aliments sont brisées pour chaque kilogray d'énergie ionisante absorbée,"[19] les concentrations de ces composés dans ces aliments sont de l'ordre de la partie par million.

Pour évaluer la toxicité d'un nouvel additif alimentaire, on procède normalement à des essais d'alimentation portant sur des animaux avec des concentrations élevées du produit afin de déterminer la dose maximale qu'il est possible d'utiliser sans provoquer d'effets toxiques. Lors des premières études portant sur les aliments irradiés, l'aliment entier était assimilé à un additif chimique et était servi aux animaux en quantités énormes. Le régime des sujets expérimentaux était ainsi à ce point déséquilibré qu'il était difficile de distinguer les effets toxiques possibles de l'irradiation des effets du déséquilibre nutritionnel.

Plus récemment, cependant, les évaluations de l'innocuité des aliments ont eu tendance à s'écarter des essais d'alimentation effectués avec des animaux pour s'intéresser d'avantage à l'identification et aux essais des produits de radiolyse. Au cours des 10 dernières années, les chercheurs se sont surtout intéressés à la nature des produits de radiolyse et à la prévision de leur apparition dans les aliments et ils ont cherché à en évaluer les effets toxiques. Ils ont également mis l'accent sur les réactions des animaux soumis à des régimes entièrement faits d'aliments irradiés.

En comparant les produits de radiolyse aux produits de thermolyse, ils ont constaté que les méthodes classiques de transformation et l'irradiation des aliments engendrent les mêmes types de produits. Un groupe de travail britannique mis sur pied pour évaluer l'irradiation des aliments a conclu "qu'il n'existe aucune différence qualitative significative, du point de vue toxicologique, entre les produits de radiolyse présents dans les aliments irradiés et les produits présents dans les aliments traités par les méthodes habituelles et que les changements chimiques provoqués par l'irradiation des aliments sont habituellement moins importants que les changements observés dans les aliments traités par les méthodes classiques dont la sûreté est reconnue".[20] "La plupart des produits de radiolyse sont des composantes normales des aliments : des acides gras provenant de la décomposition des triglycérides, ou des acides aminés provenant des protéines, par exemple".[21] Nos connaissances insuffisantes de la chimie classique des aliments et le manque de données de base compliquent l'identification et l'évaluation des produits de radiolyse.

Ce manque de connaissances a conduit un comité de la Food and Drug Administration (FDA) des États-Unis "à présumer que certains produits de radiolyse sont peut-être particuliers aux aliments irradiés et à créer le terme "unique radiolytic products" (URP) pour désigner les substances dont on n'a pu déterminer la présence dans les aliments non irradiés."[22] Ainsi, même si nous en savons plus sur les changements chimiques qui surviennent dans les aliments irradiés que sur ceux qui sont induits par les méthodes habituelles de transformation des aliments, "il n'est pas possible d'exclure l'hypothèse que des substances uniques et peut-être toxiques (URP) peuvent se former dans certains aliments irradiés."[23] Jusqu'à maintenant cependant, "aucun composé particulier aux aliments traités à l'énergie ionisante n'a été découvert en 30 années de recherches dans ce domaine."[24] Les chercheurs qui ont passé des années à étudier

l'irradiation des aliments ont signalé avoir cherché pendant des années à déterminer des caractéristiques qui pourraient permettre de distinguer les aliments irradiés, sans jamais y parvenir.[25]

Études d'alimentation

Les recherches visant à évaluer la toxicité des aliments irradiés et s'étendant sur de multiples générations d'animaux remontent loin dans le temps. Beaucoup des premières études portant sur cette question étaient si mal planifiées et si peu vérifiables qu'elles n'ont donné aucun résultat utile. Le British Advisory Committee on Irradiated and Novel Foods soulignait, dans son rapport d'avril 1986 (traduction) :

> Dans les quelques études qui ont laissé voir des différences entre les animaux nourris d'aliments irradiés et les témoins, aucune tendance significative n'a pu être observée en ce qui concernait le type d'anomalie constatée, la durée de la période d'alimentation, le type d'aliment utilisé dans l'étude, la quantité d'aliments irradiés dans le régime et la dose de radiations utilisées.[26]

Les personnes en faveur de l'irradiation des aliments signalent que beaucoup des études controversées ont été évaluées en profondeur et jugées inadéquates et donc peu concluantes. Leurs opposants les accusent de chercher des prétextes pour rejeter tout travail mettant en doute l'innocuité des aliments irradiés.

L'interprétation des résultats de certaines études laissant penser que les aliments irradiés peuvent avoir des effets mutagènes chroniques et influer sur la reproduction fait toujours l'objet d'un débat orageux. L'évaluation scientifique, menée par des pairs, des méthodes utilisées et des résultats obtenus ainsi que les tentatives infructeuses de reproduction de ces travaux de recherche ont amené la communauté scientifique à refuser de donner foi à ces études.

Les résultats de deux études menées en URSS[27] et selon lesquels les reins et les testicules de rats nourris avec des aliments irradiés auraient été endommagés comptent parmi ceux qui ont le plus alimenté la controverse au sein du public. La FDA a réfuté les résultats de ces recherches dans un article publié le 18 avril 1986 dans le Federal Register (traduction) :

> La FDA a constaté que certaines informations critiques portant sur le protocole expérimental de ces études étaient soit incomplètes soit manquantes. Les reproductions des photomicrographies sont inutilisables et les données numériques portant sur les divers groupes de dosage sont incomplètes. La FDA a procédé à l'examen des données des reins de 11 études chroniques portant sur des rats soumis à divers régimes d'aliments irradiés afin de vérifier s'il était possible de reproduire les résultats rapportés. Elle n'a observé aucune preuve de l'existence d'un changement dans l'état des reins qui pourrait être attribué au traitement, tel que mentionné dans les études soviétiques. La FDA a aussi repris 11 études afin de vérifier la question des lésions aux testicules et aucune d'elles n'a permis d'observer des changements semblables à ceux mentionnés dans les rapports soviétiques. (p. 13386-87)

Par ailleurs, plusieurs études effectuées à l'Institut national de la nutrition d'Hyderabad, en Inde, signalaient que des leucocytes anormaux (polyploidie) avaient été découverts chez des enfants et des animaux nourris de blé irradié.[28] À ce propos, la FDA a souligné ce qui suit (traduction) :

> Un comité de chercheurs indiens a procédé à un examen critique des techniques, du protocole expérimental, des données recueillies et de l'interprétation qu'en ont faite les chercheurs de l'Institut. Ce comité a conclu que les données sur lesquelles se fonde l'étude sont non seulement mutuellement contradictoires mais qu'elles s'écartent également de faits biologiques établis.

On en a donc conclu que les données ne permettaient pas de démontrer le moindre effet mutagène chez le blé irradié.

En mai 1976, le Medical Department de l'armée américaine a confié, par contrat, à la société Raltech Scientific Services un important projet d'évaluation de l'innocuité de la viande de poulet irradiée. En 1982, le ministère de l'Agriculture des États-Unis devenait le responsable de la supervision de ce projet de recherche qui, à la date de son parachèvement en 1984, avait coûté 8 millions de dollars et avait produit environ 35 000 pages de rapports.[29] En transmettant ces résultats à la FDA, le ministère de l'Agriculture a souligné que dans une des études portant sur des souris, on avait observé une baisse du taux de survie des femelles ainsi qu'une augmentation de la fréquence des tumeurs bénignes à croissance lente au niveau des testicules chez les mâles.

Les données provenant de ces études ont fait l'objet d'un examen indépendant par le Center for Food Safety and Applied Nutrition de la FDA et les évaluateurs ont été en mesure de fournir sept raisons pour lesquelles ils ne pensaient pas que le poulet stérilisé aux radiations était responsable des tumeurs observées. D'autres évaluateurs, du National Toxicology Program des États-Unis cette fois, ont abondé dans le même sens.[30] En 1986, la Direction générale de la protection de la santé de Santé et Bien-être social Canada a procédé à un examen des données et des diapositives des études pathologiques de la société Raltech et est arrivée à la même conclusion, à savoir que le poulet n'était pas responsable des tumeurs.

Nutrition

Certains se sont inquiétés de la possibilité d'une baisse de la valeur nutritive des aliments irradiés. Comme les autres méthodes de transformation, l'irradiation peut modifier la composition nutritive des aliments. La nature de ces changements dépend de la dose d'irradiation, de la température du procédé, de la composition des aliments et de la présence ou de l'absence d'oxygène.[31]

En ce qui concerne les doses faibles (jusqu'à 1 kGy), la plupart des études évaluées par le CMEIA ont laissé voir des pertes insignifiantes de la valeur nutritive. Dans le cas des doses moyennes (de 1 à 10 kGy), les recherches ont démontré qu'il pouvait y avoir baisse de la teneur en certaines vitamines. Dans le cas des doses de stérilisation (de 10 à 50 kGy), les techniques utilisées pour éviter les effets sur la qualité

organoleptique (facteurs sensoriels), l'irradiation à faible température et sans oxygène par exemple, contribuent également à préserver la valeur nutritive.

Les données montrent que les principales composantes nutritives des aliments, les protéines, les glucides et les graisses, sont peu modifiées par des doses d'irradiation moyennes de 10 kGy ou moins. Certaines molécules risquent tout au plus d'être décomposées en leurs diverses composantes chimiques.

Les vitamines peuvent laisser voir des degrés divers de radio-sensibilité dans différents types d'aliments car elles peuvent être protégées par certaines autres composantes des aliments. En général, la riboflavine, la niacine et la vitamine D sont relativement stables. Cependant, les vitamines C, A et E et les fractions de la vitamine B comme la pyridoxine et la thiamine sont plus sensibles à la dégradation, en particulier à des doses élevées de radiations et en présence d'oxygène. On peut éviter une partie de ces pertes de vitamines en traitant les aliments à basse température, en utilisant la dose de radiations la plus faible possible et en emballant les aliments pour empêcher l'oxygène et la lumière de pénétrer. Les pertes subies sont généralement inférieures ou à tout le moins comparables à celles produites par d'autres méthodes acceptées de transformation des aliments comme le blanchiment ou la congélation.[32]

On s'inquiète cependant des pertes cumulatives de matières nutritives dues aux effets combinés de l'irradiation et des méthodes classiques de transformation. Si, par exemple, les aliments sont à la fois irradiés et mis en conserve, les pertes subies seront plus importantes que si l'on se contentait simplement de la mise en conserve. En outre, il faut également songer que beaucoup de produits irradiés devront plus tard être cuits et que les pertes subies à ce moment seront aussi cumulatives.

Micro-organismes mutants et survivants

On s'inquiète également de ce que l'irradiation des aliments, comme la plupart des traitements thermiques et chimiques, risque de produire des micro-organismes mutants et possiblement dangereux. Cependant, les recherches ont démontré que l'irradiation détruit les gènes et que les micro-organismes mutants sont donc défavorisés face à la concurrence dans l'environnement et donc moins en mesure de survivre que leurs cousins normaux.

On a également souligné le problème de l'élimination sélective des organismes dans les aliments traités à des doses de radiations inférieures à celles nécessaires pour la stérilisation. La destruction des bactéries qui causent une détérioration évidente des aliments en en changeant l'odeur, la couleur ou la texture éliminerait du même coup les signes qui avertissent les consommateurs de la présence possible d'un organisme beaucoup plus toxique : Clostridium botulinum. Sans concurrence, cet organisme, responsable du botulisme, pourrait proliférer. Ainsi, comme pour toutes les autres méthodes de transformation des aliments, l'emballage, la manutention par les transformateurs, les détaillants et les consommateurs, les procédures d'inspection, les étiquettes de date de péremption et les saines pratiques de fabrication seront tout aussi nécessaires. Par exemple, le poisson frais irradié à une dose supérieure à 1 kGy doit être réfrigéré à une température inférieure à 38 °F (3,3 °C) et présenté dans un emballage perméable à l'oxygène afin d'éviter le développement de C. botulinum, puisque cette bactérie ne peut vivre qu'en milieu anaérobie.[33]

CHAPITRE CINQ. APPLICATIONS COMMERCIALES À L'ÉCHELLE INTERNATIONALE

Il existe un certain nombre d'obstacles aux applications commerciales de l'irradiation des aliments. Même si certains pays ont approuvé l'utilisation du traitement par radiations pour quelques rares produits alimentaires, l'utilisation commerciale du procédé à l'échelle internationale est gênée par les politiques discordantes des différents pays et par l'absence d'une législation internationale régissant les doses acceptables, l'étiquetage et les critères d'inspection. Lorsque l'irradiation des aliments et l'exportation de ces aliments ne sont légales que pour quelques produits, les quantités d'aliments qui peuvent être soumises à ce procédé sont souvent trop petites pour rendre une installation d'irradiation rentable pendant toute l'année. La disponibilité de méthodes de rechange moins coûteuses et les craintes d'une réaction négative de la part des consommateurs constituent des obstacles supplémentaires à la commercialisation du procédé.

Depuis 1983, lorsque la Commission du Codex Alimentarius a reconnu l'innocuité et la viabilité de l'irradiation des aliments, beaucoup de pays ont graduellement modifié leur réglementation afin de tenir compte des nouvelles normes recommandées et ont autorisé l'utilisation du procédé pour plusieurs types d'aliments. Cependant, la simple autorisation d'utiliser l'irradiation ne garantit pas que le procédé sera largement utilisé commercialement. En effet, alors que quelque 30 pays permettent l'irradiation de certains aliments destinés aux humains et aux animaux, le procédé n'est utilisé commercialement pour le traitement d'aliments vendus au public que dans 10 d'entre eux environ (tableaux II et III).

Situation actuelle

L'irradiation est utilisée commercialement aux Pays-Bas, en Norvège, en France, en Belgique et, dans une moindre mesure, aux États-Unis, pour la décontamination d'aliments déshydratés de grande valeur, de condiments et d'épices. Aucun de ces pays ne fait l'étiquetage des produits irradiés, lesquels servent d'ingrédients mineurs dans d'autres aliments tranformés. De petites quantités d'aliments sont soumis à des doses de stérilisation en Amérique du Nord et en Europe pour les patients hospitalisés dont l'immunité est réduite et on a également utilisé des aliments irradiés pour les astronautes de la navette spatiale.

La première installation commerciale d'irradiation des aliments à connaître le succès (type à rayons gamma) a été construite au Japon en 1973 dans le cadre d'un projet conjoint du gouvernement japonais et de la Coopérative agricole de Shihoro, à Hokkaido. Le traitement aux radiations gamma remplace les substances chimiques interdites pour empêcher la germination des pommes de terre. Environ 1 360 tonnes sont traitées aux radiations ionisantes chaque mois avant d'être soumises à une transformation ultérieure. Les produits ainsi obtenus ne portent aucune étiquette permettant d'avertir les consommateurs que leur contenu a été irradié.

Tableau II. Irradiateurs commerciaux disponibles pour le traitement des aliments et des provendes

Pays	Emplacement de l'irradiateur commercial	Situation	Produits traités	Capacité approximative
Belgique	MEDIRIS* Fleurus	en service (1980)	épices, provendes, fruits de mer congelés	3 000 t/a
Brésil	EMBRARAD* Sao Paulo	en service	épices	...
Chine	Irradiateur multivalent (180 kCi) Chengdu	en service	...	...
	Irradiateur multivalent (100 kCi) Shanghai	en service	...	...
Israel	Irradiateur pour provendes (accélérateur) Tel-Aviv	en service (1984)	provendes	...
Japon	Irradiateur de pommes de terre de Shihoro, Shihoro Hokkaido	en service (1973)	pommes de terre	15 000 t/mois
Pays-Bas	Installation pilote pour l'irradiation des aliments Wageningen	en service (1968)	crevettes, cuisses de grenouilles, teintures organiques, épices,	1 500 t/a
	GAMMASTER-1* Ede	en service (1972)	épices, cuisses de grenouilles congelées, crevettes	5 000 t/a

suite à la page suivante

Tableau II. (suite) Irradiateurs commerciaux disponibles pour le traitement des aliments et des provendes

Pays	Emplacement de l'irradiateur commercial	Situation	Produits traités	Capacité approximative
	GAMMASTER-2 multivalent Ede	en service (1982)	épices, cuisses de grenouilles congelées, crevettes	5 000 t/a
Afrique du Sud	Irradiateur de fruits et légumes de Tzaneen	en service (1982)	mangues, fraises, pommes de terre, oignons, etc.	7 000 t/a
	Iso-Ster (Pty), Ltd.* Kempton Park	en service (1981)	fruits, légumes, poudre de noix de coco	...
	Irradiateur multivalent, Atomic Energy Board Pretoria	en service	fruits, légumes, poulet, etc.	...
Taiwan	Irradiateur multivalent	en service	...	...
États-Unis	Radiation Technology, Inc.* Rockaway, New Jersey	en service (quelques irradiateurs)	épices, condiments	500 t/a
	Isomedix, Inc.* Whipany, New York	en service (plusieurs irradiateurs)	épices, condiments	500 t/a
	International Nutronics* Irvine, Californie	en service (plusieurs irradiateurs)	épices, condiments	500 t/a
URSS	Irradiateurs à grains (deux accélérateurs d'électrons) Port d'Odessa	en service (1981)	grains	400 000 t/a

* Surtout utilisés pour la stérilisation du matériel médical.

Tableau III. Irradiateurs commerciaux en projet pour le traitement des aliments et des provendes (janvier 1985)

Pays	Emplacement de l'irradiateur commercial	Situation	Produits traités	Capacité approximative
Bangladesh	Irradiateur multivalent (150 kCi) Dacca	prévu pour 1985	pommes de terre, oignons, poisson	...
Chine	Irradiateur multivalent (200 kCi) Shanghai	en construction	aliments en général	...
Équateur	Accélérateur d'électrons Quito	en construction	aliments déshydratés	...
France	Irradiateur d'aliments sur palettes (2 millions de kCi Co-60) Marseilles	prévu pour 1985	aliments en général	...
	CGR Accélérateur 10 MeV	prévu pour 1986	volaille désossée	...
Hongrie	AGROSTER Joint Co. Budapest	prévu pour 1985	épices, pommes de terre, oignons	...
Iran	Irradiateur multivalent Téhéran	prévu pour 1986	aliments déshydratés	...
Italie	Irradiateur commercial pour légumes, coopérative de Fucino, Fucino	en construction	pommes de terre, oignons, ail	25 000 t/saison

suite à la page suivante

Tableau III. (suite) Irradiateurs commerciaux en projet pour le traitement des aliments et des provendes (janvier 1985)

Pays	Emplacement de l'irradiateur commercial	Situation	Produits traités	Capacité approximative
République de Corée	Irradiateur multivalent Séoul	en construction	aliments en général	...
Pakistan	Irradiateur multivalent Karachi	prévu pour 1986	aliments en général	...
Thailande	Irradiateur multivalent (200 kCi) Bangkok	prévu pour 1986	aliments en général	...
États-Unis	International Nutronics, Honolulu, Hawai	prévu pour 1985	fruits tropicaux	...

Source : P. Loaharanu, "Asian Regional Cooperative Project on Food Irradiation." In Proceedings of a Symposium on Food Irradiation Processing, Washington DC, mars 1985, (AIEA/FAO Vienne, 1985), p. 180.

On utilise également l'irradiation en URSS pour le traitement commercial d'un aliment : deux accélérateurs d'électrons de conception soviétique servent chaque année à désinsectiser environ 200 000 tonnes de grains destinées à la consommation intérieure, dans le port d'Odessa. L'URSS vient ainsi au premier rang des pays du monde pour le volume d'aliments irradiés.

Par contre, l'Afrique du Sud, le pays qui vient au premier rang pour la variété des aliments traités aux radiations ionisantes, ne traite chaque année qu'environ 10 000 tonnes d'aliments destinées à la consommation intérieure, dans deux installations d'irradiation aux rayons gamma qui servent uniquement à cette fin. Une troisième installation sert à la fois à la stérilisation des produits médicaux à usage unique et à l'irradiation des aliments. Au nombre des produits irradiés, mentionnons les mangues, les papayes, les bananes, les avocats, les litchis, les tomates, les fraises, les tisanes, les épices, les pâtes de légumes ainsi qu'une variété de viandes. L'étiquetage est facultatif et se limite à un symbole. L'utilisation du symbole sur l'emballage permet de vendre le produit plus cher puisqu'on considère ce symbole comme un gage de qualité supérieure.

Aux Pays-Bas, on procède à l'irradiation d'environ 6 000 tonnes d'aliments par année, y compris les fruits de mer congelés (pour détruire les organismes pathogènes) et les fines herbes et les épices (pour désinsectiser et désinfecter). Trois installations de traitement aux rayons gamma servent à la transformation des aliments, parmi lesquelles deux servent également au traitement de produits industriels. La troisième, une installation de démonstration conçue pour l'irradiation des aliments, abrite le Centre international de technologie pour l'irradiation des aliments (IFFIT), un projet international parrainé par l'AIEA, la FAO et le ministère de l'Agriculture et des Pêcheries des Pays-Bas. L'IFFIT offre des cours de formation sur l'irradiation des aliments pour les représentants des pays en développement, procède à des études pilote, effectue des recherches portant sur des produits précis et, sur demande, évalue la qualité des produits irradiés expédiés.

La Hongrie et Israel utilisent des installations pilotes pour traiter de petites quantités d'aliments vendus sur le marché. Plusieurs autres pays ont recours à des irradiateurs multivalents ou prévoient en construire afin de traiter de faibles volumes d'aliments destinés aux humains et aux animaux (Tableau III).

Applications dans les pays moins développés

On procède actuellement, dans beaucoup de pays moins développés, à l'évaluation des avantages que peut présenter l'irradiation des aliments pour réduire les pertes de récolte et lutter contre les maladies transmises par les aliments consommés dans ces pays ainsi que pour traiter les produits des cultures commerciales avant leur exportation.

Dans les pays tropicaux, la détérioration due à l'humidité et à la chaleur et les pertes dues aux insectes peuvent toucher de 10 à 30 % des grains et de 15 à 80 % des fruits et des légumes produits. Les radiations ionisantes peuvent s'avérer utiles pour lutter contre de telles pertes. Par ailleurs, cette méthode pourrait contribuer à améliorer la santé des populations en détruisant les organismes pathogènes et les parasites présents dans la viande rouge, le poisson et la volaille.

Dans certains pays en développement qui comptent essentiellement sur l'auto-suffisance locale et qui sont dépourvus d'une infrastructure alimentaire nationale adéquate, une installation d'irradiation des aliments pourrait devenir un éléphant blanc. Dans de tels pays, les installations d'irradiation des aliments ne peuvent être envisagées que dans le cadre d'un programme national de développement agricole. Il faut tout d'abord prévoir la mise en place d'installations de réfrigération et d'entreposage afin d'éviter la recontamination. Des réseaux adéquats de transport et des centres de collecte et de distribution doivent être établis afin d'assurer que des volumes suffisants d'aliments puissent être transportés jusqu'à l'installation d'irradiation pour assurer la rentabilité. Il faut également voir à la formation d'un groupe de spécialistes de l'irradiation et adopter la réglementation voulue. L'irradiation des aliments n'est pas une panacée permettant d'accroître les quantités d'aliments disponibles pour les populations frappées par la famine.

L'irradiation des aliments semble promise à un avenir particulièrement prometteur dans certains pays nouvellement industrialisés comme la Thaïlande, l'Égypte, l'Inde, la Malaisie et le Chili, lesquels disposent déjà d'une infrastructure alimentaire suffisante pour accueillir une ou plusieurs installations centrales. Les réseaux de collecte, de transport et de distribution y sont bien développés. Ces pays présentent également les conditions préalables voulues (spécialistes de l'irradiation, recherche, épreuves, législation) pour l'installation d'irradiateurs commerciaux rentables.

Pour beaucoup de ces pays, l'exportation de poisson et de produits agricoles constitue une source importante de devises étrangères. Ces pays envisagent le recours à l'irradiation des aliments en remplacement des fumigants aujourd'hui bannis afin de se conformer aux exigences de quarantaine des gouvernements étrangers. En outre, ils s'intéressent aux possiblités offertes par cette nouvelle technologie en ce qui concerne la réduction des pertes par détérioration et l'inhibition du mûrissement des fruits et des légumes frais. Ces effets permettraient l'exportation de variétés nouvelles plus fragiles, le recours au transport par bateau, moins coûteux que le transport aérien, et l'augmentation des volumes exportés. Par exemple, le Chili espère pouvoir doubler ses exportations de produits horticoles en les faisant passer de 363 000 tonnes en 1986 à 726 000 tonnes en 1990.

Auparavant, la plupart des épices, des condiments et des produits importés pour être consommés au Canada et aux États-Unis étaient fumigés dans les ports de Philadelphie et de Los Angeles. Cependant, une nouvelle réglementation du ministère de l'Agriculture des États-Unis exigera dorénavant qu'une majorité des traitements exigés aux fins de la quarantaine soient effectués dans les pays d'origine. À l'heure actuelle, on utilise le bromure de méthyle pour fumiger ces produits, mais les pays producteurs craignent que ce produit soit lui aussi bientôt interdit à cause de sa toxicité et des résidus qu'il laisse sur les aliments traités. Les exportateurs se trouveraient alors incapables de se conformer aux exigences de quarantaine. Voilà pourquoi ils sont très intéressés à adopter l'irradiation des aliments, pour peu qu'ils soient assurés que l'Amérique du Nord et l'Europe auront autorisé cette méthode et que les consommateurs continueront d'acheter leurs produits après le traitement.

Normes et usages aux États-Unis

Le 14 février 1984, sous l'impulsion des recommandations de la Commission du Codex Alimentarius de 1983, la Food and Drug Administration des États-Unis (FDA) publiait

un projet de réglementation intitulé : "Irradiation in the Production, Processing and Handling of Food." Cette nouvelle réglementation comportait trois éléments principaux :

- les aliments irradiés à des doses atteignant jusqu'à 1 kilogray sont salubres et propres à la consommation humaine;
- les aliments qui ne constituent pas plus de 0,01 % du régime quotidien peuvent être irradiés à des doses de 50 kilograys ou moins en toute sécurité sans qu'il soit nécessaire de procéder à des épreuves toxicologiques;
- les autres aliments irradiés à des doses supérieures à un kilogray doivent faire l'objet d'une série d'épreuves à court terme sur les effets mutagènes qui permettront de détecter toute substance toxique. En outre, ces aliments doivent être évalués par des études d'alimentation de 90 jours portant sur une espèce de rongeur et sur une espèce appartenant à un autre ordre.

Ainsi, la FDA envisageait de fixer à 1 kilogray seulement le maximum acceptable, malgré le seuil de 10 kilograys recommandé par la Commission du Codex Alimentarius et proposé par le Canada. En avril 1986, la FDA adoptait la version finale de la réglementation pour quatre autorisations particulières. La première permettait l'irradiation de préparations d'enzymes déshydratées à des doses atteignant jusqu'à 10 kilograys pour la lutte contre les insectes et les micro-organismes; la deuxième permettait l'irradiation des carcasses de porc à des doses comprises entre 0,3 et 1 kilogray pour la lutte contre Trichinella spiralis; la troisième portait la dose approuvée pour la décontamination des épices de 10 à 30 kilograys; la quatrième permettait des doses atteignant jusqu'à 1 kilogray pour l'inhibition de la maturation des produits "frais" et pour la désinsectisation des aliments.[34]

Cette dernière autorisation revêt une très grande importance puisqu'elle permet l'irradiation des aliments aux fins de la quarantaine. En fait, un essai de commercialisation effectué en Floride dès septembre 1986 a été couronné de succès. Un marché de Miami Beach nord a vendu une cargaison de mangues irradiées provenant de Porto Rico, les premières à être offertes au public.[35] C'est au Federal Safety Inspection Service du ministère de l'Agriculture des États-Unis qu'il revient maintenant de décider du plein recours à ces autorisations. Ces dernières auront certainement un effet au Canada. Comme la plupart des produits frais vendus pendant l'hiver au Canada transitent par les États-Unis, des autorisations semblables et de nouvelles méthodes d'inspection seront aussi nécessaires ici.

À l'origine, les normes américaines concernant l'étiquetage exigeaient l'utilisation de l'expression "pico-waved" (traité aux pico-ondes), ainsi que du symbole international (voir Figure III). En avril 1986, la FDA et le Food Safety and Inspection Service du ministère de l'Agriculture des États-Unis statuaient que l'irradiation doit être mentionnée explicitement sur les étiquettes par les expressions "treated with radiation" ou "treated by irradiation", accompagnées du symbole. Pour les produits non emballés vendus au détail, cette expression et le symbole doivent paraître sur le contenant du produit en vrac ou sur une affiche placée à côté. Cette décision restera en vigueur pendant deux ans, avant de faire l'objet d'une nouvelle évaluation. Néanmoins, elle aura des répercussions évidentes sur la réglementation canadienne concernant l'étiquetage, compte tenu de l'importance d'une certaine uniformité entre les deux pays pour la réalisation de conditions de libre-échange dans le commerce des produits alimentaires.

CHAPITRE SIX. APPLICATIONS COMMERCIALES AU CANADA

Au Canada, le traitement par irradiation ne trouve un usage commercial que dans le domaine de la stérilisation des produits médicaux à usage unique. Aucun produit alimentaire n'est encore irradié commercialement.

Le Canada possède déjà une longue expérience de la recherche et du développement préalables à la mise en marché dans ce domaine. Combinés à cela, le climat de réglementation plus propice, l'interdiction des gaz fumigants et les pressions pour améliorer la salubrité des aliments ont provoqué un regain d'intérêt pour les utilisations commerciales de l'énergie ionisante chez les fabricants d'aliments, petits et grands, les associations commerciales, les groupes d'investisseurs, les firmes d'ingénieurs et les groupes d'experts-conseils.

En 1985, en réaction à un sondage qui laissait entendre que 40 de leurs 60 entreprises membres se disaient intéressées par ce procédé et souhaitaient obtenir de plus amples informations, les Fabricants canadiens de produits alimentaires commandaient et distribuaient un court rapport portant sur l'irradiation des aliments. D'autres associations commerciales du secteur telles que le Conseil canadien des pêches, le Conseil canadien de l'horticulture et l'Association canadienne des manufacturiers de produits alimentaires se sont aussi intéressées à cette technologie. Beaucoup de producteurs ont décidé d'évaluer l'irradiation pour leurs propres produits et certains gros fabricants ont déjà mis sur pied des programmes visant à évaluer l'irradiation de leurs produits. Toutefois, étant donné la controverse que risquait de susciter cette question, la plupart des entreprises privées et des associations ont passé la plupart de ces activités sous silence.

Atelier sur l'irradiation des aliments

La commercialisation de la technologie canadienne de l'irradiation des aliments soulève un certain nombre de questions. En 1985, afin de clarifier ces questions et d'évaluer les perspectives ouvertes aux divers intervenants, le Conseil des sciences confiait à la société Energy Pathways Inc. la production d'un document d'information.[36] En juillet 1985, après avoir obtenu ce rapport, le Conseil organisait un atelier afin d'évaluer les obstacles à l'irradiation commerciale des aliments et aux ventes de la technologie canadienne de l'irradiation et de décider des mesures à prendre.

Des représentants d'associations commerciales de l'alimentation, de firmes d'ingénieurs, du secteur de l'irradiation, de groupes de consommateurs et de divers ministères du gouvernement fédéral ont été invités à participer à une session d'une journée. Les participants ont convenu que les pays tropicaux constituent le marché le plus immédiat pour cette technologie, ces pays pouvant utiliser l'irradiation des aliments pour remplacer les méthodes de fumigation chimiques bannies. Ils ont dit penser qu'à court terme, la technologie ne trouverait que quelques applications limitées au Canada : pour étendre les marchés, prolonger la période pendant laquelle les produits "frais" sont disponibles et améliorer la salubrité de certains produits de viande rouge, de volaille et de poisson.

Toutefois, même si le procédé ne risque pas d'être largement utilisé dans un proche avenir pour le traitement des produits alimentaires canadiens, plusieurs entreprises canadiennes souhaitent obtenir l'autorisation d'importer des aliments irradiés aux fins

de quarantaine. Les importateurs et les vendeurs canadiens de fruits tendres et les entreprises canadiennes de transformation des aliments qui utilisent des assaisonnements produits dans les pays tropicaux sont particulièrement intéressés. Ils souhaitent en outre savoir si les consommateurs canadiens seront prêts à accepter ces aliments irradiés.

Les représentants du secteur privé ont souligné que la demande pour l'utilisation de la technologie de l'irradiation des aliments est gênée au Canada par l'absence d'une législation habilitante, de directives concernant l'étiquetage et d'informations. L'industrie a besoin de plus amples renseignements concernant la faisabilité économique, les avantages techniques, l'accueil sur le marché, l'innocuité et les essais des produits, ainsi que sur la disponibilité des installations de traitement.

Législation habilitante

L'irradiation des aliments n'est pas considérée comme un procédé en vertu de la loi canadienne. Elle est réglementée au même titre que les additifs alimentaires en vertu du règlement d'application de la Loi des aliments et drogues, lequel relève de la Direction générale de la protection de la santé de Santé et Bien-être social Canada.

Des autorisations ont déjà été obtenues pour certains produits. On peut utiliser l'irradiation pour inhiber la germination des pommes de terre et des oignons à une dose moyenne absorbée de moins de 0,15 kilogray, pour désinsectiser le blé, la farine et la farine de blé entier à des doses inférieures à 0,75 kilogray et pour lutter contre les micro-organismes contenus dans les épices à des doses absorbées moyennes inférieures à 10 kilograys. Cependant, actuellement, aucune de ces autorisations n'est mise à profit.

Lorsque les nouvelles normes concernant l'irradiation des aliments ont été adoptées par la Commission du Codex Alimentarius en 1983, le Canada, en sa qualité de membre participant, s'est trouvé quelque peu tenu de modifier sa réglementation en conséquence. Ainsi, en juillet 1983, la Direction générale de la protection de la santé publiait une Lettre de renseignements (n° 651) dans laquelle elle demandait à tous les intéressés de lui faire parvenir leurs commentaires.[37]

La lettre proposait que "l'irradiation des aliments ne soit désormais plus régie par les dispositions sur les additifs alimentaires du Règlement sur les aliments et drogues." On proposait plutôt "d'élaborer de nouveaux règlements visant à contrôler l'irradiation des aliments en tant que mode de traitement distinct." La lettre recommandait en outre "l'incorporation d'un nouveau titre, intitulé "irradiation des aliments" à la partie B du Règlement sur les aliments et drogues." La Direction générale proposait d'accepter les recommandations de la Commission du Codex Alimentarius et de ne plus exiger des épreuves toxicologiques pour les aliments irradiés à une dose inférieure à 10 kilograys. Les normes canadiennes exigeraient que les demandes officielles d'autorisation pour l'irradiation d'aliments précis comprennent des renseignements aptes à démontrer l'efficacité du procédé, précisent la dose exacte requise pour obtenir un effet particulier (p. ex., prolongement de la durée de conservation des pommes Courtland) et indiquent la qualité nutritive et le profil microbiologique de l'aliment traité. De telles données seraient obtenues par le biais de tests d'efficacité au cours desquels

l'entreprise ou l'agence souhaitant obtenir une autorisation devrait procéder à une démonstration à l'échelle industrielle afin de vérifier les allégations découlant d'épreuves effectuées en laboratoire ou dans des installations pilotes et d'établir les critères pour le contrôle du procédé.

Compte tenu de telles normes, le Canada reconnaîtrait de fait l'irradiation comme un procédé et accepterait les conclusions des recherches menées par la communauté scientifique internationale et portant sur l'innocuité des aliments irradiés. Pour le secteur de l'alimentation, ceci signifierait qu'il ne serait dorénavant plus nécessaire de procéder à de longues et coûteuses épreuves toxicologiques sur des animaux vivants afin de prouver l'innocuité de chaque produit pour lequel on souhaitait obtenir l'autorisation de traiter par irradiation. Au lieu de cela, les entreprises n'auraient plus qu'à fournir des données sur la qualité, obtenues à partir de tests de l'efficacité beaucoup moins coûteux.

À la suite de la publication de la Lettre de renseignements n° 651, Santé et Bien-être social Canada a reçu certaines réponses qui étaient généralement en faveur de la proposition et certaines autres où l'on mettait en doute la nécessité et la sécurité de l'irradiation des aliments.[38] L'Association des consommateurs du Canada (ACC) a adopté en juin 1982 une résolution demandant au gouvernement du Canada d'adopter le code de pratiques et les normes de la Commission du Codex Alimentarius. Les responsables de Santé et Bien-être social Canada ont fait savoir que c'était là leur intention, compte tenu des dispositions susmentionnées, et que la nouvelle réglementation serait ratifiée incessamment.[39]

Réglementation concernant l'étiquetage

Pour que l'irradiation puisse être utilisée à l'échelle commerciale, la législation proposée par Santé et Bien-être social Canada doit être adoptée de concert avec une législation sur l'étiquetage, domaine relevant de Consommation et Corporations Canada.

Jusqu'à maintenant, Consommation et Corporations Canada a publié deux communiqués (n^{os} 39 et 50, sur l'étiquetage des aliments irradiés) dans lesquels on expose les diverses possibilités offertes pour l'étiquetage des aliments irradiés et des aliments faits à partir d'ingrédients irradiés. Le communiqué le plus récent, le n° 50, publié en novembre 1985, signale que les 43 réponses obtenues à la suite de la publication du premier communiqué (n° 39) publié en juillet 1983 laissent voir des divergences d'opinions parmi les représentants de l'industrie et les consommateurs sur la façon dont on devrait étiqueter les aliments irradiés.

Les Fabricants canadiens de produits alimentaires et la majeure partie de l'industrie alimentaire préconisent l'utilisation d'un symbole international permettant d'identifier le procédé car de nombreuses enquêtes menées auprès des consommateurs ont laissé voir que les mots radiation et irradiation ont une connotation négative et inquiétante. Ils peuvent pousser les consommateurs à rejeter la notion d'irradiation des aliments sans chercher à s'informer davantage. Presque toutes les études ont démontré que les gens établissent un lien entre le mot "irradiation" et des notions telles que la bombe atomique, les accidents dans les centrales nucléaires, les maladies causées par les radiations et la mort.

L'Association des consommateurs du Canada recommande d'éviter l'utilisation du mot "irradié" en faveur d'un signe plus neutre, par exemple un symbole, qui inciterait le consommateur à chercher à obtenir de plus amples informations. Comme il est impossible de distinguer les aliments irradiés de ceux qui ne le sont pas, l'Association juge l'étiquetage nécessaire pour permettre au consommateur d'exercer son droit de choisir entre les deux types d'aliments. D'autres groupes de consommateurs et d'autres personnes exigent que l'on utilise le terme "irradié" sur tous les aliments traités ou contenant des ingrédients traités.

On ne s'entend pas encore sur la formule à utiliser si on devait exiger un avis en toutes lettres sur les étiquettes. Du fait du manque généralisé de connaissances sur l'énergie ionisante, les responsables de l'industrie craignent que l'utilisation du simple terme "irradié" suscite l'appréhension du public. Plusieurs enquêtes sur les attitudes des consommateurs ont cherché à évaluer les réactions des gens à diverses formules telles que "produit frais ionisé" ou "traité aux pico-ondes." Certains défenseurs des droits des consommateurs ont cependant jugé que l'utilisation de telles formules de rechange équivaudrait à chercher à mystifier les consommateurs avec des euphémismes. Le même débat s'est répété dans plusieurs pays.

À la réunion de mars 1985 du Comité sur l'étiquetage de la Commission du Codex Alimentarius, il a été convenu que la communauté internationale devrait préconiser une forme quelconque d'étiquetage du produit. Cependant, il n'existe encore aucune norme internationale concernant la terminologie à utiliser pas plus qu'il n'existe de consensus sur l'utilisation d'un symbole seul ou accompagné d'une inscription.

En Afrique du Sud, où l'on fabrique et vend au détail une grande variété de produits irradiés, on a recours à l'usage facultatif d'un symbole et des lettres RSA (Radura South Africa) pour étiqueter les aliments et indiquer leur grande qualité.

Voici certaines des principales recommandations mentionnées dans le communiqué n° 50 de Consommation et Corporations Canada :

- le symbole international (voir Figure III) devrait être utilisé sur tous les aliments irradiés préemballés;
- les termes RADURA[40], I.E.T. (ionized energy treated) ou T.R.I. (traité aux rayons ionisants) devraient accompagner le symbole;
- le symbole devrait désigner les ingrédients qui ont été irradiés puis inclus dans la fabrication d'un produit alimentaire;
- les aliments en vrac vendus au détail devraient être identifiés au moyen d'affiches accompagnant le produit;
- la publicité radiodiffusée ou télévisée portant sur les aliments irradiés devrait préciser le procédé utilisé afin de justifier toute allégation faite au sujet du produit.

Les réactions suscitées par ces recommandations font actuellement l'objet d'une évaluation par Consommation et Corporations Canada. La décision finale sur cette question entrera en vigueur à la même date que la modification à la réglementation sur les aliments et drogues proposée par Santé et Bien-être social Canada.[41]

Figure III : Symbole international de l'irradiation des aliments

Les exigences concernant l'étiquetage mises en vigueur au Canada et aux États-Unis devront être uniformisées afin d'éviter de créer des barrières non tarifaires qui pourraient nuire au libre-échange. Par conséquent, la décision prise en avril 1986 par la FDA des États-Unis d'utiliser les expressions "treated by irradiation" ou "treated with radiation" sera probablement imitée au Canada.

Recherches sur l'irradiation des aliments et applications possibles au Canada

Les travaux canadiens de recherche et de développement préalables à la mise en marché dans le domaine de la technologie de l'irradiation des aliments ont commencé au début des années 1950 au Centre de recherche d'EACL, à Chalk River. EACL, Agriculture Canada et Santé et Bien-être social Canada y ont mené des recherches conjointes pour étudier les effets de l'irradiation, tout d'abord sur les pommes de terre puis sur les pommes et les oignons. À peu près à la même époque, en 1956, EACL mettait au point et construisait le premier irradiateur de recherche commercial, le GammaCell 220. Cette source d'irradiation à bouclier protecteur intégré et munie d'une minuterie est devenue l'instrument de prédilection pour la recherche appliquée en irradiation des aliments. Au début des années 1960, des appareils de ce genre ont été installés dans divers laboratoires de recherche sur les aliments d'un bout à l'autre du Canada : au collège d'agriculture de l'Ontario, au Conseil de recherches sur les pêcheries du Canada, à l'université Laval, à l'université du Manitoba, au collège MacDonald de l'université McGill, à l'université de l'Alberta et à l'université de la Colombie-Britannique. Au moins 600 appareils inspirés de ce mini-irradiateur sont utilisés dans les centres de recherche du monde entier.

En 1961, EACL construisait le premier irradiateur de démonstration mobile au cobalt-60. Protégé par un bouclier d'environ 25 cm de plomb gainé d'acier et monté sur une remorque, cet irradiateur a servi à traiter environ 50 000 kg de pommes de terre dans quatre provinces différentes en 1961 et en 1962. On l'a par la suite utilisé pour irradier du poisson frais en Nouvelle-Écosse ainsi que des grains, des pommes, des oignons, de la volaille et des ovoproduits au Québec et en Ontario. C'est la société Newfield Products Ltd. du Mont Saint-Hilaire, au Québec, qui a tenté en 1965 la première utilisation commerciale de l'irradiation au Canada. Cette société utilisait un irradiateur de produits sur palettes fonctionnant au cobalt-60 pour inhiber la germination des pommes de terre. Toutefois, à cause d'une saison inclémente, la qualité des pommes de terre récoltées a été trop faible pour assurer le succès de l'irradiation et l'entreprise a par la suite fait faillite.

En 1965, le Canada et les États-Unis ont entrepris leur premier programme conjoint de recherches sur l'irradiation des aliments. Il s'agissait d'une étude de deux ans portant sur le prolongement de la durée de conservation à l'étalage des produits de la volaille au moyen d'une pasteurisation à faible dose. Du côté canadien, les travaux ont été confiés à trois institutions : le collège MacDonald étudiait la réduction des micro-organismes et la sécurité, Bio-Research Laboratories examinait la valeur nutritive et l'université de la Colombie-Britannique étudiait les effets de l'irradiation sur le goût, l'apparence, la texture et l'odeur de la volaille irradiée. Les résultats de ces essais, auxquels on avait ajouté des données toxicologiques portant sur la volaille et provenant d'un peu partout dans le monde ont été rassemblés en huit volumes et présentés avec une demande d'autorisation pour l'irradiation de la volaille à la Direction générale de la protection de la santé de Santé et Bien-être social Canada en juin 1972.

Peu après, les résultats de recherches semblables effectuées sur le poisson par EACL, le laboratoire de Halifax du Conseil de recherches sur les pêcheries du Canada et la Bio-Research Laboratories ont été présentés à la Direction générale dans une autre demande d'autorisation pour l'irradiation du poisson. Ces deux demandes étaient l'aboutissement de 10 années de recherche et s'appuyaient à la fois sur des données publiées et inédites. Après une période d'évaluation de douze mois, la Direction générale de la protection de la santé déclarait qu'elle accepterait d'accorder les autorisations demandées à la condition que l'on procède tout d'abord à des tests de l'efficacité commerciale et à des tests de commercialisation. Cependant, EACL avait entretemps interrompu son programme de recherche et de développement sur la préservation par radiations ionisantes et il n'y avait plus de fonds disponibles pour les tests d'efficacité et les tests de commercialisation.

Beaucoup de grossistes canadiens de produits de la volaille, en particulier ceux qui vendent aux institutions, s'intéressent à l'irradiation du poulet pour lutter contre les épidémies de salmonellose. En 1984, en partie par suite des pressions exercées par le gouvernement pour faire réduire l'incidence des salmonelles dans le poulet, l'industrie de la volaille décidait d'évaluer les possibilités de l'irradiation des aliments et de procéder aux tests nécessaires de l'efficacité de l'irradiation du poulet. Les fonds nécessaires à la tenue de ces tests ont été fournis par plusieurs ministères

gouvernementaux et Agriculture Canada a joué le rôle de coordonnateur de la recherche. Ces tests, effectués sous contrat par Isomedix à son installation de Whitby, en Ontario, devaient déterminer les normes d'efficacité en vertu de la nouvelle réglementation proposée par Santé et Bien-être social Canada. Agriculture Canada a préparé un rapport écrit des résultats de ces tests, lequel a été présenté avec les données des épreuves toxicologiques effectuées antérieurement à la fin de 1986 aux fins de la demande d'autorisation. Santé et Bien-être social Canada n'a pas encore pris sa décision.

Récemment, des transformateurs de dindon et Agriculture Canada ont négocié une entente pour le cofinancement de tests d'efficacité visant à déterminer la réduction du nombre de micro-organismes pathogènes obtenue par l'irradiation à l'échelle commerciale de la viande de dindon.

L'irradiation du poisson est une autre application possible de l'irradiation au Canada. L'industrie de la pêche s'est montrée intéressée à utiliser l'irradiation pour prolonger la durée de conservation des filets de poissons crus emballés dans un film de plastique spécialement conçu à cette fin. Une augmentation de trois jours de la durée de conservation à l'étalage du poisson frais serait intéressante à la fois pour les pêcheries de l'Est et de l'Ouest car le produit frais se vend plus cher sur le marché. Toutefois, les pêcheurs de la côte Est vendent environ 80 % de leurs prises aux États-Unis et tant que ce pays n'aura pas approuvé l'irradiation du poisson à des doses supérieures au maximum actuellement autorisé de 1 kilogray, il sera inutile pour les compagnies canadiennes de songer à l'achat d'installations d'irradiation.

Par ailleurs, comme le mentionnait le Conseil canadien des pêches à l'occasion de l'atelier du Conseil des sciences sur l'irradiation, il faudrait pour assurer la rentabilité de l'irradiation aux rayons gamma procéder au traitement de gros volumes de poisson. Pour y parvenir, un irradiateur devrait être installé en région et risquerait d'y remplacer un certain nombre d'usines de transformation, avec les conséquences que l'on imagine sur l'emploi. Ainsi, l'industrie des pêches continuera probablement à investir dans d'autres technologies (par exemple, chalutiers congélateurs), et s'intéressera peut-être à l'irradiation des filets de poisson à l'aide d'accélérateurs d'électrons installés dans les usines existantes ou même sur les bateaux.

On a déjà procédé dans les Maritimes à certaines études de faisabilité de l'irradiation des pommes de terre pour empêcher la germination. Toutefois, à moins que les inhibiteurs chimiques actuellement utilisés ne deviennent inacceptables pour le public consommateur, il est peu vraisemblable que l'on envisage sérieusement cette solution dans un avenir rapproché. Une entreprise des Maritimes, IONX, a commencé à procéder à des essais pour évaluer les effets de l'irradiation à très faibles doses des pommes de terre de semence et d'autres types de semences pour l'accroissement du rendement, l'interruption de la dormance et l'amélioration d'autres caractéristiques de la croissance des pommes de terre.

Il est possible que l'irradiation du blé et du grain ou des produits frais comme les fraises et les champignons ait un avenir au Canada. Toutefois, les producteurs se sont

jusqu'à maintenant intéressés surtout aux essais et à la vérification et non à l'utilisation commerciale de cette méthode.

Considérations économiques

La technologie de l'irradiation pourrait ajouter une nouvelle dimension à la transformation des aliments en ce qui a trait à la qualité, à l'emballage et à la préparation des produits. Avant la mise au point de la congélation, qui aurait pu imaginer la vaste gamme des aliments congelés pratiques qui sont aujourd'hui si populaires?

Au Canada et dans d'autres pays industrialisés, les fabricants d'aliments ont déjà investi énormément dans les produits et dans les installations existantes. Ils ne seront donc pas naturellement portés à adopter cette technologie radicalement différente et coûteuse à moins qu'il puisse être démontré que l'irradiation peut leur apporter de réels bénéfices techniques ou économiques.[42]

Comme il n'existe que peu d'exemples d'irradiateurs d'aliments en opérations, chaque situation doit faire l'objet d'une étude de faisabilité économique permettant de comparer les coûts d'investissement et d'exploitation aux avantages procurés par la nouvelle technique. Les produits qui sont déjà minces ou que l'on peut rendre suffisamment minces pourront peut-être éventuellement se prêter au traitement par faisceaux d'électrons accélérés, mais à l'heure actuelle, la demande existe surtout du côté du traitement des produits alimentaires volumineux, lequel nécessite l'utilisation des radiations gamma.

L'irradiation aux rayons gamma demande un investissement initial élevé. Le coût total de l'installation varie en fonction du prix de l'emplacement, de la taille et de la conception de l'installation, du type d'équipement et du coût des installations connexes et des entrepôts (pouvant comprendre les installations de réfrigération). Un irradiateur de faible capacité et à chargement manuel par lots coûte au départ environ 1,3 million de dollars et son exploitation demande une somme supplémentaire de 600 000 $ pendant la première année. Le coût d'investissement d'un irradiateur automatique de grande capacité atteint presque 3,9 millions de dollars et sa première année d'exploitation peut coûter environ 1,2 million de dollars.[43]

La nature du produit et l'effet désiré détermineront la dose nécessaire et, par conséquent, la quantité de cobalt-60 voulue. Le cobalt-60 coûte cher et compte pour une large part du coût final par unité de produit transformé. Le coût initial de la source de radiation peut varier de 250 000 à un million de dollars. Comme le radio-isotope émet des radiations sans interruption, son activité diminuant d'environ 12,3 % par année, les meilleures économies peuvent être réalisées lorsque l'installation fonctionne 24 heures par jour pendant toute l'année. Lorsque les produits à traiter ne sont disponibles qu'en saison, les fluctuations des livraisons à l'irradiateur augmenteront le coût du traitement par unité à moins qu'il soit possible de trouver une combinaison de produits qui permettra d'utiliser l'irradiateur à pleine capacité.

Toute étude de faisabilité doit par conséquent pouvoir évaluer le mélange et les volumes optimums des produits à traiter ainsi que les prix de ces produits et la demande. En outre, il faut inclure, le cas échéant, les dépenses occasionnées par les salaires, les services de dosimétrie, le transport, l'énergie, les nouvelles exigences d'emballage, la distribution, les campagnes de promotion spéciales, les permis et les tests d'efficacité.

En dernière analyse, il est probable que seules les entreprises les plus grandes ou les coopératives seront en mesure d'acheter leur propre irradiateur. Dans les autres cas, s'il est permis d'en juger par l'industrie de l'irradiation du matériel médical à usage unique, beaucoup d'entreprises chercheront à confier l'irradiation de leurs produits à des services fonctionnant à contrats. Un économiste d'Agriculture Canada a signalé que les possibilités offertes au Canada pour un irradiateur d'aliments univalent et fonctionnant dans des conditions peu propices à sa rentabilité sont limitées. Cette situation découle de la nature saisonnière de la production agricole canadienne ainsi que de la structure et de la taille du secteur de la transformation. Ainsi, les irradiateurs multivalents disponibles par contrats seront plus appropriés pour la plupart des utilisations au Canada.[44] Plusieurs groupes d'entrepreneurs canadiens en Colombie-Britannique, en Ontario, au Québec et au Nouveau-Brunswick se sont incorporés en compagnies en vue d'exploiter ce marché. À l'heure actuelle, il n'existe au Canada qu'un seul irradiateur de ce type à Whitby, en Ontario. Il a été conçu pour le traitement du matériel médical à usage unique mais peut être adapté pour la transformation des aliments.

Coûts et avantages

Une étude effectuée en 1985 par la Fundacion Chile a permis de déterminer qu'un investissement d'un million de dollars (US) pour la mise en place d'un irradiateur au cobalt-60 servant au traitement en lots des fruits, des épices et de la volaille pourrait donner un rendement annuel de 37 %. La période d'amortissement d'une telle installation serait donc de 3 ans. Le coût[45] du traitement a été évalué comme suit :

Produit	Effet du traitement	Dose	Coût ($ US)
Fruits	Désinsectisation	0,5 kGy	2,5 ¢/kg
Poulet	Désinfection	3,5 kGy	7,5 ¢/kg
Épices	Désinsectisation et désinfection	5,0 kGy	25,0 ¢/kg

En général, les estimations des coûts pour l'irradiation des aliments varient d'environ deux cents par kilogramme pour les doses faibles à 25 à 35 cents par kilogramme pour la stérilisation des viandes à doses élevées de radiations.

La plupart des spécialistes croient que le coût final de l'irradiation des produits alimentaires serait comparable à celui de la plupart des autres procédés à cause des avantages que l'on peut attendre des différents effets procurés par le traitement.

Par exemple, une réduction des pertes dues à la détérioration pourra signifier une augmentation du volume des produits bruts ou transformés atteignant les marchés, ce qui pourra entraîner une baisse des prix et une hausse des revenus. Par ailleurs, la prolongation de la durée de conservation à l'étalage pourra permettre de rejoindre des marchés jusque-là inaccessibles et provoquer également une baisse des coûts du transport.

Dans le cas des produits carnés, l'irradiation pourra en outre favoriser une amélioration de la santé publique. Par exemple, l'irradiation du poulet désossé ou des carcasses de porc pourra peut-être en augmenter le prix de vente, mais la réduction des maladies transmises par les aliments pourrait bien justifier une telle augmentation. Toutefois, comme l'ont souligné les représentants de l'industrie de la volaille lors de l'atelier du Conseil des sciences, à moins que l'industrie ne consente à annoncer que son poulet est infesté de salmonelles, l'augmentation des prix pour les consommateurs risquera de placer les produits irradiés en position concurrentielle défavorable sur les marchés de détail. Par contre, la façon dont la nouvelle technologie est adoptée dans l'ensemble du secteur de la volaille pourrait s'avérer déterminante.

En effet, si des entreprises de grande taille sont les premières à en faire l'essai, elles pourront peut-être en retirer certains avantages, y compris la détermination de nouvelles normes de qualité, de durée de conservation à l'étalage et d'hygiène. Les entreprises de transformation des aliments de plus petite taille seront alors obligées de se regrouper pour avoir recours à un service d'irradiation à contrats pour ne pas perdre leur part du marché. Mentionnons, à titre d'exemple, le cas du plus important transformateur de volailles du Queensland, en Australie, qui prévoit partir à l'assaut du marché avec le slogan "Our product is better for you."

Accueil réservé par les consommateurs

Les sondages effectués aux États-Unis et au Canada auprès des consommateurs au cours des quatre dernières années montrent que même si une partie de la population, évaluée à 10 %, risque fort de ne pas accepter les aliments irradiés, le problème du rejet de la nouvelle technologie par le public a en général été exagéré. Les résultats d'une enquête qualitative menée par la Canadian Gallup Poll[46] laisse en effet voir une réaction positive dans l'ensemble face au procédé, notamment en ce qui concerne les intentions d'achat, l'appréciation du produit (goût, texture, odeur), et les avantages pour la santé. Les résultats d'une enquête plus récente menée auprès des consommateurs américains et publiée en janvier 1986 par le Brand Group de Chicago[47] laissent voir que 5 à 10 % seulement des personnes questionnées rejettent le procédé. Les réactions négatives découlent de diverses opinions personnelles (par exemple, le désir de ne consommer que des aliments naturels et non transformés ou le rejet de la technologie nucléaire sous toutes ses formes). La proportion des indécis est évaluée à 55 à 65 % du total et 25 à 30 % des personnes questionnées disent accepter la méthode. Pour assurer le succès commercial du procédé, il faudra peut-être avoir recours à la fois à une vaste campagne d'information du public visant à expliquer ce qu'est l'irradiation des aliments ainsi qu'à des campagnes de promotion des produits individuels à mesure qu'ils sont lancés sur le marché.

Lors de l'atelier du Conseil des sciences sur l'irradiation des aliments, tous les participants ont convenu de la nécessité de mettre sur pied un programme complet d'information du public. Ce programme devrait être axé sur les consommateurs, les transformateurs et les détaillants. Les renseignements fournis devraient porter sur le procédé, sa sécurité et ses avantages tout en rappelant les méthodes recommandées de manipulation du produit. Le choix du responsable de l'organisation d'un tel programme n'a cependant pas fait l'unanimité. Certains jugeaient bon de confier cette tâche à l'industrie de l'alimentation ou à des groupes de consommateurs tels que l'Association des consommateurs du Canada. D'autres jugeaient qu'il revenait à l'industrie de l'irradiation ou au gouvernement de prendre la direction d'un tel programme.

Une entreprise individuelle devrait faire face à des coûts élevés de promotion sans pouvoir compter en retour sur un avantage concurrentiel si elle était parmi les premières à adopter l'irradiation des aliments sans l'appui d'une campagne nationale d'éducation.

Selon un participant représentant le secteur privé, c'est l'industrie en tant que groupe collectif qui devrait déterminer la nature d'un tel programme. Le modèle qu'il préconisait était semblable à celui de la Coalition pour l'irradiation des aliments, un groupe américain regroupant plusieurs entreprises importantes du domaine de l'alimentation, des membres de l'industrie de l'irradiation et d'autres partisans de l'irradiation. On a toutefois souligné que beaucoup de consommateurs sont sceptiques face aux allégations de l'industrie et qu'il serait préférable de trouver un "intermédiaire honnête" pour participer à l'élaboration d'une telle campagne d'éducation.

Le problème de la responsabilité du financement d'un programme d'une telle envergure a aussi été soulevé. Ce financement devrait-il être assuré par le gouvernement, l'industrie ou les deux ensemble?

L'industrie alimentaire souhaiterait qu'un plus grand nombre d'enquêtes soient réalisées pour évaluer l'accueil que feront les consommateurs aux produits irradiés et déterminer quels sont les besoins de promotion. Encore une fois, la collecte de telles informations serait coûteuse et procurerait peu d'avantages concurrentiels à une entreprise qui s'y engagerait seule. Les participants ont donc jugé nécessaire de parvenir à une certaine coordination de la participation du gouvernement et de l'industrie.

Les tests de commercialisation devraient faire partie intégrante de tout programme d'évaluation de l'attitude des consommateurs, selon les représentants de l'industrie canadienne et du gouvernement. Lors de l'atelier du Conseil des sciences, on a suggéré qu'un produit ou qu'une famille de produits soient choisis, irradiés et mis sur le marché pour contribuer à l'éducation du public et fournir des renseignements utiles aux groupes engagés dans l'alimentation, aux responsables de la réglementation et à l'ensemble de l'industrie. Les coûts des tests d'efficacité (un exercice de raffinement du procédé à l'échelle commerciale afin d'en prouver la viabilité pour l'assurance de la qualité au détail et pour le traitement en masse, tel qu'exigé par le ministère de la Santé et du Bien-être social) et de la promotion pourraient être défrayés collectivement par un groupe de représentants de l'industrie avec ou sans la participation du gouvernement. Grâce à une telle action collective, on éviterait la situation d'une

entreprise pionnière devenue la cible des campagnes négatives de ses concurrentes. Au nombre des produits qui ont été mentionnés comme sujets possibles d'une telle démonstration, mentionnons la volaille, les filets de poisson, le saumon, les produits carnés "frais" et transformés et les aliments pour animaux favoris. Il n'y a cependant pas eu d'entente sur l'ordre des priorités à adopter. Par ailleurs, certains ont mentionné que dans la mesure où beaucoup d'entreprises envisagent déjà sérieusement d'utiliser l'irradiation, elles devraient elles-mêmes décider quand procéder aux essais et quels produits choisir.

Installations de démonstration et recherche appliquée

Les producteurs et les transformateurs canadiens d'aliments ont dit souhaiter disposer d'une installation de démonstration conçue spécialement pour le traitement des aliments et qui pourrait servir aux tests d'efficacité et à la recherche appliquée. Des articles scientifiques publiés dans le monde entier définissent les doses nécessaires et les résultats obtenus dans des conditions expérimentales précises. Ces données doivent être confirmées par la recherche appliquée avant que l'on puisse passer à l'utilisation à l'échelle commerciale. Par ailleurs, il faut procéder à de plus amples recherches fondamentales et appliquées sur les réactions des produits végétaux à l'irradiation puisque la plupart des études portant sur les fruits et les légumes remontent à une vingtaine d'années. La création de nouveaux cultivars et les progrès réalisés grâce à la combinaison de l'irradiation et d'autres types de traitements (régrigération, chauffage, emballage sous atmosphère contrôlée, trempages chimiques) sont autant d'éléments qui justifieront les recherches dans ce domaine.[48] Par ailleurs, les secteurs de la congélation et de la fabrication des aliments souhaitent vérifier les allégations des chercheurs concernant l'élimination des micro-organismes et évaluer diverses combinaisons de méthodes de traitement (par exemple, l'irradiation d'un produit congelé dans un milieu à faible teneur en oxygène), et le secteur de l'emballage souhaite mettre de nouveaux produits à l'essai.

Une entreprise privée de Whitby, en Ontario, est déjà en mesure de passer des contrats pour les essais de démonstration même si l'installation qu'elle possède n'a pas été précisément conçue pour le traitement des aliments. Elle a déjà procédé à des tests d'efficacité et de vérification du traitement de la volaille.

Deux nouvelles installations conçues et construites spécialement pour le traitement des aliments sont presque terminées au Québec. La première, destinée aux démonstrations et aux essais, appartient à Agriculture Canada et ouvrira ses portes au début de 1987 à Saint-Hyacinthe. Cette installation pilote conçue pour l'irradiation des aliments par lots permettra à Agriculture Canada de remplir une partie du mandat qui lui a été confié, à savoir, poursuivre un programme continu de recherches sur l'irradiation des aliments. Il s'agit d'une partie des installations fournies par le nouveau Centre de recherche sur les aliments à Saint-Hyacinthe (CRASH), un centre de recherche gouvernemental mis sur pied pour fournir à l'industrie alimentaire l'équipement et l'aide technique voulus selon un système de partage des coûts ou de recouvrement complet de ces derniers. Agriculture Canada prévoit offrir les services de ce Centre pour former les représentants de l'industrie alimentaire locale ainsi que des représentants étrangers. L'irradiateur n'est pas conçu pour se prêter à des tests d'efficacité et de commercialisation.

La deuxième installation, comprenant un irradiateur commercial, un entrepôt et un laboratoire de dosimétrie, appartient à la Société radiochimique de l'EACL qui en assure l'exploitation et la gestion. Son ouverture est prévue pour 1987. Cette installation est rattachée au Centre de recherches en sciences appliquées à l'alimentation (CRESALA) de l'Institut Armand-Frappier, à Laval (Québec), un centre de recherche et d'enseignement affilié à l'université du Québec à Montréal. Cet irradiateur a été conçu pour fournir un vaste choix de doses expérimentales et pour pouvoir se prêter à des changements de l'aménagement intérieur. Les travaux de laboratoire et l'enseignement seront confiés au CRESALA. L'installation de Laval, appelée Centre de l'irradiation du Canada/Canadian Irradiation Centre, est un irradiateur pilote pré-commercial. Elle fonctionnera selon le principe du recouvrement des coûts, sans but lucratif, et servira à diverses fins, y compris la recherche appliquée, les essais et les tests de commercialisation pour l'industrie canadienne et pour les éventuels importateurs de la technologie canadienne. Le mandat du Centre comprend également la formation des techniciens en irradiation, des transporteurs, des transformateurs et des étudiants en science de l'alimentation. La direction du Centre a laissé entendre que ce dernier pourrait devenir le centre nord-américain de formation pour le traitement des aliments par irradiation.

L'importance relative de ces irradiateurs et les mandats différents qui ont été confiés aux institutions chargées d'en assurer l'exploitation donnent à penser que les deux devraient théoriquement fournir des services différents. Certains observateurs estiment cependant qu'ils se feront concurrence, notamment du fait que la distance qui les sépare n'est que de 60 kilomètres.

Certains des participants à la réunion du Conseil des sciences ont souligné que les tests d'efficacité et les analyses des coûts et avantages demeureront artificiels s'ils ne sont pas effectués dans un irradiateur de démonstration installé dans la région immédiate d'où provient le produit mis à l'essai. Par exemple, un irradiateur commercial pourrait être installé sur la côte de l'Atlantique, près des pêcheries, et utilisé tout d'abord à des fins de démonstration pré-commerciale avant d'être entièrement intégré dans la chaîne de production. Les autres régions où l'on a envisagé d'installer des irradiateurs pilotes sont le Manitoba (où l'on a récemment procédé à une étude de faisabilité) et la Colombie-Britannique. Les groupes intéressés à l'alimentation et les gouvernements fédéral et provinciaux ont manifesté leur intérêt pour ces propositions mais aucune mesure concrète n'a encore été prise. Au milieu de 1986, le gouvernement de la Colombie-Britannique a financé partiellement la construction d'un laboratoire de recherche sur les aliments et d'un centre pilote de traitement par irradiation à Richmond. Ce centre devait être équipé d'un nouvel accélérateur linéaire à haute énergie mais l'entreprise américaine qui faisait la promotion de cet appareil n'a pas été en mesure d'en faire la livraison.

Perspectives de la technologie canadienne de l'irradiation des aliments sur les marchés d'exportation

Beaucoup de pays des régions tropicales et sub-tropicales ont accueilli avec satisfaction les récentes autorisations accordées pour l'irradiation des aliments aux États-Unis. Ces autorisations leur permettront de maintenir ou d'accroître les ventes de leurs produits

primaires, poissons et viandes sur le marché américain, lesquelles sont évaluées à un milliard de dollars. Les observateurs pensent que ces autorisations, compte tenu de l'importance du marché en cause, augmenteront l'intérêt manifesté dans plusieurs pays pour les utilisations commerciales de l'irradiation des aliments. La Chine, l'Australie, le Mexique, la Nouvelle-Zélande, le Chili, la Thaïlande, la Jamaique et d'autres pays d'Amérique du Sud, d'Asie du sud-est et des Antilles se sont déjà montrés intéressés à acheter des irradiateurs canadiens.

L'utilisation de l'irradiation des aliments ici même au Canada a déjà été considérée comme une condition essentielle à la promotion de notre technologie à l'étranger. Cependant, lors de l'atelier du Conseil des sciences, des représentants de firmes d'ingénieurs ont mis en doute cette affirmation et se sont dits en désaccord avec les priorités qu'elle impose. Selon eux, l'idée de considérer l'ouverture de débouchés sur les marchés internationaux comme conditionnelle à l'adoption de la technologie par l'industrie alimentaire canadienne risque de nous conduire à l'échec. Les projets de démonstration sont la clé de la promotion de la technologie de l'irradiation et rien ne nous oblige à les limiter exclusivement au développement des marchés canadiens. Toujours selon eux, le Canada devrait au contraire élaborer une stratégie de commercialisation internationale spécialement conçue pour un groupe de pays présentant des similitudes du point de vue de la production, du climat et de la géographie.

Selon certains représentants, la construction dans un pays tropical choisi d'un irradiateur de démonstration adapté à un produit particulier ou à un groupe de produits particuliers pourrait devenir un excellent outil de promotion conduisant à la vente de telles installations dans d'autres pays comparables. Par exemple, des pays tropicaux d'Amérique du Sud et de Méditerranée pourraient faire l'objet d'une campagne de promotion de l'irradiation du poisson. De tels projets de démonstration permettraient au Canada de se bâtir une réputation internationale et de gagner une certaine crédibilité sur les marchés étrangers. Ils pourraient être réalisés par des entreprises comme les firmes d'ingénieurs-conseils qui ont déjà l'expérience des vastes projets internationaux. Les participants ont mentionné que l'entreprise privée pourrait financer des consortiums qui seraient en mesure de mener à bien les multiples étapes de la réalisation d'installations clés en main : études de faisabilité, études de marché, conception, génie, construction, traitement des aliments et emballage. Ils pourraient également participer aux aspects connexes de ces activités tels que les échanges de produits et le commerce réciproque. Une telle approche intégrée serait avantageuse à la fois pour le Canada et pour l'ensemble des exportateurs engagés dans ce domaine particulier de la technologie.

En plus de la Société radiochimique de l'EACL, représentante du Canada dans le domaine de la technologie de l'irradiation gamma, et des nouvelles entreprises engagées dans la vente d'accélérateurs linéaires, quelques firmes privées d'ingénieurs, d'experts-conseils et quelques entrepreneurs en irradiation ont acquis une certaine expérience dans l'irradiation des aliments. Par ailleurs, les départements des sciences de l'alimentation de plusieurs universités canadiennes (Guelph, collège MacDonald, université de la Colombie-Britannique, Laval et université du Québec à Montréal (Institut Armand-Frappier)) possèdent une expérience en recherche dans ce domaine. Agriculture Canada jouit également d'une certaine expérience dans la recherche et les

essais et s'est déjà engagé, comme en fait foi la création de son Centre de recherche de Saint-Hyacinthe, à contribuer à la formation et aux recherches futures dans ce domaine. Finalement, plusieurs entreprises canadiennes possèdent une expérience de la manipulation, de l'entreposage et de la transformation des aliments.

Ainsi, le Canada est en mesure de se charger des études de faisabilité, de la construction, de la gestion, de l'emballage et de l'entreposage des aliments ainsi que de la vente de l'équipement voulu pour mettre sur pied une installation complète de transformation des aliments axée sur l'irradiation. Dans les pays industrialisés, le rôle du Canada risque de se limiter à la conception et à la fourniture de l'équipement et de la source de radiations. Toutefois, les pays moins développés devront également investir dans la construction des installations, la réfrigération, les matériaux d'emballage, l'équipement, les entrepôts, la formation des employés et, peut-être, dans certains cas, dans la mise sur pied d'un système plus perfectionné de récolte, y compris des routes et des véhicules réfrigérés. En créant des consortiums capables d'assurer tous ces services, beaucoup d'entreprises canadiennes pourraient entrer dans la ronde et profiter de la technologie mise au point par EACL, dont les travaux de recherche et de développement ont été financés à même les fonds publics. Cette approche intégrée rendrait la technologie canadienne de l'irradiation gamma plus concurrentielle face aux entreprises étrangères qui font la promotion de leurs propres concepts technologiques et installations d'irradiation gamma. Le seul avantage que le Canada pourrait espérer retirer de ses transactions avec des entreprises étrangères serait la conclusion d'un contrat pour l'approvisionnement en cobalt-60. Par ailleurs, avec la percée sur le marché de la technologie des accélérateurs linacs, il devient possible pour le Canada d'élaborer un système d'irradiation des aliments fondé sur cette technologie et de se tailler un créneau dans ce nouveau secteur.

La vente d'un irradiateur d'aliments et des équipements connexes à un acheteur étranger pourrait permettre au Canada d'accroître ses ventes de produits alimentaires en échange des produits traités à l'aide du système canadien. Cela pourrait également inciter l'acheteur à se procurer au Canada des produits connexes comme des engrais et de la machinerie agricole.

Toutefois, la demande sur les marchés d'outremer n'évolue pas toujours de façon aussi prévisible et les efforts de promotion doivent donc porter autant sur la technologie que sur les services connexes. Ceci nous amène à soulever la question des rapports qui existent entre le producteur de la technologie et ceux qui sont responsables de fournir les services connexes. Comme la Société radiochimique de l'EACL est une société de la Couronne à but lucratif fonctionnant comme une véritable entreprise privée, son mandat se limite à la promotion et à la vente de la source de radiations, de l'équipement et des installations qu'elle produit et rien ne l'oblige à promouvoir un ensemble plus vaste de produits et de services canadiens à l'étranger.

Cette question a été soulevée lors de la rencontre organisée par le Conseil des sciences en 1985 par certains représentants du secteur privé qui ont émis des doutes quant aux perspectives de la technologie de l'irradiation des aliments au plan national. Ces personnes s'interrogeaient sur la volonté de cette société de la Couronne de partager ce marché et d'encourager la conclusion d'accords subsidiaires avec d'autres entreprises privées.

Cette situation est pourtant en train de changer. L'Agence canadienne de développement international (ACDI) a déjà accordé des fonds à des firmes canadiennes d'experts-conseils pour procéder à des études de pré-faisabilité et de faisabilité sur l'irradiation des aliments pour plusieurs pays en développement : la Jamaique, l'Égypte et le Chili. Plus récemment l'ACDI a conclu un accord bilatéral avec le gouvernement de la Thailande qui l'amènera à contribuer financièrement à la construction d'une installation pilote d'irradiation gamma de conception canadienne. Cet accord porte sur la construction de l'irradiateur, des entrepôts, d'une chambre froide et d'un congélateur, de l'équipement de transformation (p. ex., éviscération du poisson), de bureaux, d'un laboratoire, et prévoit également la formation des employés de cette installation au Centre de l'irradiation du Canada, à Laval. La Thailande compte utiliser cette installation pour éliminer les organismes pathogènes et prolonger la durée de conservation à l'étalage du poisson, des mollusques et des crustacés sur les marchés intérieurs ou d'exportation. L'installation servira également au traitement de la volaille et des fruits. La Thailande souhaite éventuellement supplanter l'Australie et le Japon pour devenir le centre de démonstration et de formation sur l'irradiation des aliments dans la région asiatique. Il s'agit là du premier exemple de mise sur pied d'un consortium d'entreprises canadiennes complémentaires pour mener à bien les diverses étapes d'un tel projet. L'expérience permettra aux entreprises canadiennes de mieux se connaître et de se familiariser avec la technologie. L'installation servira en outre de modèle pour les projets futurs dans la région du Sud-est asiatique.

Des divergences se sont également fait jour sur la question des possibilités de débouchés pour les entreprises privées, à la lumière du rôle du ministère des Affaires extérieures dans la transmission des demandes de soumission provenant des pays étrangers. Par le passé, la Société radiochimique de l'EACL s'est chargée de la majeure partie de la commercialisation du système canadien à l'étranger, mais récemment, des firmes d'experts-conseils et d'ingénieurs ont réalisé une percée dans ce domaine. Dans beaucoup de pays, les contrats pour l'achat d'une technologie à ce point coûteuse sont passés par le biais d'ententes bilatérales conclues de gouvernement à gouvernement. Ces négociations sont menées par le ministère des Affaires extérieures qui, jugeant que la Société radiochimique de l'EACL est le numéro un dans ce domaine au Canada, transmet les dossiers à cette dernière. Certains ont signalé que malgré les investissements consentis par les entreprises privées pour le développement initial de ces marchés, ces dernières ont par la suite été écartées à cause de cette méthode.

CHAPITRE SEPT. CONCLUSION

Le problème qui se pose en ce qui concerne le développement commercial de l'industrie canadienne de l'irradiation des aliments est de savoir par quel bout commencer. La demande immédiate pour la technologie provient des pays tropicaux qui souhaitent surtout utiliser l'irradiation pour remplacer les mesures actuelles de quarantaine pour l'exportation des aliments. Leurs clients, dont le Canada, sont en train d'interdire l'utilisation de fumigants chimiques mais ils tardent à adopter la législation qui ferait de l'irradiation une solution de rechange propice. En outre, les pays producteurs et les entreprises canadiennes qui utilisent ou vendent ces produits craignent que les consommateurs canadiens ne rejettent les produits irradiés. Des enquêtes menées auprès des consommateurs ont démontré que la majorité d'entre eux accepteront l'irradiation des aliments s'ils sont suffisamment renseignés, mais il n'existe pas, à l'heure actuelle, d'organisme capable d'orchestrer une vaste campagne d'information du public et d'en défrayer le coût. Partout où l'on a connu des succès dans la commercialisation de l'irradiation des aliments, l'intégration de l'ensemble du système de production et de distribution, y compris l'information et la formation, a été jugée nécessaire. L'absence d'un organisme national capable de se charger de toutes ces tâches place les utilisateurs et les acheteurs éventuels de la technologie de l'irradiation des aliments à l'étranger dans une situation difficile.

Si l'industrie alimentaire canadienne n'a pas montré d'intérêt pour cette technologie, c'est que la législation habilitante n'existait pas, qu'elle pouvait déjà compter sur des techniques éprouvées et qu'elle ne disposait pas d'informations suffisantes pour évaluer les réactions des consommateurs et entreprendre une analyse des avantages et des coûts de la technologie. Étant donné ce manque d'intérêt de la part de l'industrie alimentaire canadienne, les législateurs n'ont pour leur part pas été très enclins à mettre en place rapidement une nouvelle réglementation et l'appui des responsables des autres ministères du gouvernement s'est fait attendre. La Société radiochimique de l'EACL, l'entité responsable de fournir la technologie, est une société de la Couronne et à ce titre, elle n'a pas été en mesure d'exercer les pressions voulues pour obtenir les changements législatifs et l'aide financière qui s'imposaient, un organisme gouvernemental n'étant pas en mesure de demander l'aide d'un autre organisme gouvernemental. La demande pour la mise en vigueur de telles mesures doit venir directement du secteur industriel intéressé, c'est-à-dire, dans le cas présent, du secteur de l'alimentation. Au Canada, il n'existe pas encore de groupe d'intérêt semblable à la coalition pour l'irradiation des aliments mise sur pied aux États-Unis pour jouer ce rôle nécessaire de catalyseur.

Le Canada est en mesure de mettre sur pied une vaste industrie multinationale de l'irradiation des produits alimentaires exportés, comprenant notamment des entreprises assurant les services connexes à la transformation des aliments grâce à la technologie canadienne de l'irradiation.

La croissance dans ce secteur dépend de l'adoption d'une législation habilitante claire, suivie d'une détermination précise de la marche à suivre pour obtenir les autorisations particulières et de l'établissement d'une réglementation concernant l'inspection. Après l'adoption de la législation habilitante, l'utilisation de l'irradiation sur les aliments produits au Canada dépendra de l'accueil que lui réserveront les

consommateurs et l'industrie et de la coopération entre le gouvernement et l'industrie. Si les autorités gouvernementales exerçaient davantage de pressions pour encourager la lutte contre les maladies transmises par les aliments et si les consommateurs et les professionnels de la santé exigeaient des aliments plus salubres, les secteurs de la volaille et de la viande se montreraient certainement plus intéressés.

Il nous faut un bureau central de documentation capable de fournir les renseignements qui nous permettront d'évaluer les risques possibles de la technologie en regard des avantages attendus, d'étudier les coûts et les avantages économiques et de procéder à l'évaluation technique des utilisations possibles. Il semblerait approprié de confier cette tâche à Agriculture Canada.

Il est nécessaire, avant ou en même temps que l'on procède au lancement et à la promotion de produits alimentaires irradiés sur le marché, de mettre sur pied un programme efficace et équilibré d'informations fondées sur la documentation susmentionnée. Un tel programme est nécessaire pour trois raisons : pour répondre aux stricts besoins de la commercialisation, pour permettre à l'industrie et aux consommateurs de faire un choix éclairé et pour bien faire connaître les nouvelles méthodes de manipulation et d'entreposage nécessaires afin d'éviter la recontamination par les micro-organismes, pathogènes ou non, avant la consommation des aliments traités.

L'industrie, les groupes de consommateurs et le gouvernement reconnaissent tous la nécessité d'un tel programme d'information. Il reste cependant à déterminer qui devrait s'en charger. Agriculture Canada, l'Association des consommateurs du Canada et les associations commerciales telles que les Fabricants canadiens de produits alimentaires ont tous manifesté leur appui pour un programme d'éducation.

Les tests de commercialisation et les enquêtes sur l'attitude des consommateurs sont nécessaires pour l'industrie de l'alimentation et les tests d'efficacité doivent être effectués aux fins d'autorisations par le ministère de la Santé et du Bien-être social, mais aucune entreprise individuelle ne peut espérer tirer un avantage concurrentiel d'un investissement dans ces études coûteuses.

Ainsi, la publication de renseignements généraux et la conduite de tests de commercialisation et d'efficacité sont des domaines qui demandent une coopération et une participation financière de l'industrie et du gouvernement.

À la rencontre du Conseil des sciences, beaucoup de participants ont souhaité voir la mise sur pied d'un comité consultatif chargé de travailler avec l'industrie alimentaire, de manière qu'aucune entreprise n'ait à endosser seule la responsabilité de l'éducation des consommateurs ou de la conduite de tous les essais. Plusieurs modèles différents ont été suggérés à ce propos. Certains ont mentionné qu'un tel comité devrait inclure des représentants des fabricants d'aliments, des associations commerciales du secteur de l'alimentation, des groupes d'ingénieurs, des entreprises d'irradiation débutantes, des universités et des ministères gouvernementaux. Ce comité devrait relever d'un organisme fédéral qui serait chargé d'en coordonner les activités.

La majorité des participants à la rencontre jugeaient que l'on devrait demander à Agriculture Canada de jouer ce rôle. Certains participants ont cependant dit craindre que le ministère n'agisse pas suffisamment rapidement et qu'il n'accorde une trop grande priorité aux aspects domestiques du problème, au détriment des aspects internationaux.

Par suite de la rencontre organisée par le Conseil des sciences, le ministère de l'Agriculture a accepté de devenir l'organisme fédéral chargé de la coordination des activités de promotion de l'irradiation des aliments.

Le ministère a depuis procédé à des changements de sa politique interne et de sa structure qui lui permettront de traiter efficacemment des questions relatives à l'irradiation des aliments.

Plan d'action

Agriculture Canada a déjà mis sur pied un Comité consultatif de l'irradiation des aliments, mais il lui reste à élaborer un plan d'action concret et concerté mettant notamment à contribution les représentants du secteur privé. Voici quels devraient être les principaux éléments de ce plan d'action :

- Santé et Bien-être social Canada devrait terminer rapidement le processus réglementaire visant à approuver que l'irradiation des aliments soit considérée comme un procédé et non plus comme un additif alimentaire, et faire connaître publiquement les limites permises pour cette méthode en vertu de la Loi des aliments et drogues.

- Afin d'accélérer les procédures d'autorisation de traitement de denrées particulières, Santé et Bien-être social Canada devrait accorder la priorité aux demandes d'autorisation de traitement d'irradiation des aliments et établir clairement la marche à suivre.

- Consommation et Corporations Canada devrait publier rapidement des directives claires sur l'étiquetage.

- Les Fabricants canadiens de produits alimentaires devraient favoriser les discussions, dans le secteur privé, portant sur l'utilisation de l'irradiation des aliments et visant à fournir des renseignements objectifs et crédibles aux consommateurs.

- Le ministère de l'Expansion industrielle régionale devrait réévaluer son rôle en ce qui concerne l'irradiation des aliments et travailler de concert avec le ministère des Affaires extérieures afin de commercialiser la technologie à l'étranger en encourageant la formation de consortiums capables de livrer de grandes installations informatisées de manutention des aliments axées sur le traitement par irradiation.

- Santé et Bien-être social Canada et Agriculture Canada devraient préciser les exigences de formation de leurs agents sur place et établir des protocoles d'inspection permettant d'assurer le respect des normes de traitement en vigueur dans les installations d'irradiation au pays comme à l'étranger et de vérifier l'acceptabilité des aliments importés irradiés aux fins de la quarantaine.

- Agriculture Canada, en sa qualité d'organisme fédéral directeur, devrait assurer la coordination des discussions avec le secteur privé et d'autres organismes gouvernementaux pour désigner les responsables des tâches suivantes :

  - mise en oeuvre d'un programme global d'information du public destiné aux consommateurs, aux membres de l'industrie de l'alimentation (transformation, distribution, emballage et manutention) et aux responsables des politiques et de la prise de décisions du gouvernement;
  - élaboration et financement d'essais portant sur une vaste gamme d'aliments irradiés et dont les résultats devraient être mis à la disposition de tous les utilisateurs éventuels de la technologie de l'irradiation;
  - détermination des besoins en documentation, de l'aide spécialisée et des méthodes nécessaires pour guider les utilisateurs potentiels de la technologie de l'irradiation des aliments et les importateurs d'aliments irradiés dans le labyrinthe des procédures d'inspection et d'autorisation de traitement des denrées.

Le Comité consultatif canadien de l'irradiation des aliments est principalement chargé du développement à long terme des marchés canadiens mais il doit également s'intéresser aux débouchés possibles à l'étranger.

La plupart des observateurs s'entendent pour dire que ce sont les marchés extérieurs qui influeront le plus sur la demande pour la technologie de l'irradiation au cours des quelques prochaines années. Toutefois, la concurrence sur les marchés des régions tropicales est déjà intense et d'autres pays ont déjà élaboré des plans pour venir en aide à des entreprises qui vendent des installations d'irradiation des aliments. Par exemple, la US Agency for International Development (USAID) a inclu la promotion et le financement de l'irradiation des aliments dans son programme d'intervention dans les Antilles. Le Canada ne peut se permettre de tergiverser s'il tient à conserver une part intéressante de ces marchés étrangers. L'ACDI peut jouer un rôle important de ce point de vue.

Nous ne savons toujours pas si les Canadiens jugeront l'irradiation des aliments produits au Canada économiquement et socialement souhaitable. Cependant, comme les États-Unis ont déjà autorisé l'irradiation pour certains usages précis et que certains pays seront maintenant en mesure d'exporter des aliments irradiés aux États-Unis, d'où ils seront transportés au Canada, les Canadiens se devront de réagir.

NOTES

1. Les principaux organes responsables des prises de décision au gouvernement fédéral sont Énergie atomique du Canada Limitée, Agriculture Canada, le ministère de l'Expansion industrielle régionale, Consommation et Corporations Canada, Santé et Bien-être social Canada, le ministère des Pêches et Océans, le ministère des Affaires extérieures et l'Agence canadienne de développement international.

2. Au nombre des principaux intéressés du secteur privé, mentionnons les membres du Conseil canadien des pêches, du Conseil canadien des transformateurs d'oeufs et de volailles, du Conseil des viandes du Canada, des Fabricants canadiens de produits alimentaires, du Conseil canadien de l'horticulture, de l'Association canadienne des manufacturiers de produits alimentaires et de l'Association canadienne des grossistes en fruits ainsi que des firmes d'ingénieurs-conseils, d'experts-conseils en faisabilité, d'entreprises futures d'irradiation par contrats, d'entreprises de réfrigération et d'entreposage et de négociants en produits alimentaires.

3. Royaume-Uni, Advisory Commitee on Irradiated and Novel Foods, Report on the Safety and Wholesomeness of Irradiated Foods (Londres, Her Majesty's Stationery Office, 1986), p. 27.

4. Steven Sonsino, "Radiation Meets the Public's Taste", New Scientist, 19 février 1987, p. 46-48.

5. L'unité de mesure utilisée pour le traitement aux radiations ionisantes est le rad, ou unité de dose absorbée. Le rad se définit comme "l'unité d'énergie absorbée par la matière à travers laquelle passent les radiations ionisantes." L'unité de mesure internationale la plus récente est le gray (Gy).
1 Gy = 100 rad = 1 joule/kilogramme.

6. Voir P.H.E. Clarkson, "Radiation Processing: Industrial Applications", dans Actes de la Conférence sur l'irradiation et ses applications, 26 au 28 septembre 1984, CRESALA, Institut Armand-Frappier, Laval (Québec) 1985, p. 162-173.

7. Pamela S. Zurer, "Food Irradiation: A Technology at a Turning Point", Chemical and Engineering News (5 mai 1986), p. 54.

8. T. Roberts, "Microbial Pathogens in Raw Pork, Chicken and Beef: Benefit Estimates for Control Using Irradiation." American Journal of Agricultural Economics 67 (5 décembre 1985), p. 957.

9. Agriculture Canada, Salmonella in the Canadian Poultry Meat Industry. Salmonella coordinating unit, Agriculture Canada, 1981, p. 101.

10. E.C.D. Todd, "Economic Loss Resulting from Microbial Contamination of Food." dans Proceedings of the Second National Conference on Food Protection, U.S. Food and Drug Administration, 9 au 11 mai 1984 (Washington, U.S. Food and Drug Administration, 1984), p. 151-165.

11. E.C.D. Todd, "Costs of Foodborne Disease in Canada." Rapport inédit présenté au Groupe consultatif international sur l'irradiation des aliments, rencontre du Groupe de travail de l'AIEA sur l'utilité de l'irradiation pour assurer la salubrité des aliments, Vienne, 14 au 18 juillet 1986. (Vienne, AIEA, sous presse).

12. W.M. Urbain, "Irradiated Foods: A Giant Step Beyond Appert", Nutrition Today (juillet-août 1984), p. 7.

13. Robert Steyer, "Irradiated Food: A Marketing Hot Potato", Access the Board 23 (juillet-août 1986), p. 17.

14. Ron Krystynak, "L'irradiation des aliments : une perspective économique", Revue du marché alimentaire 8, 3 (Ottawa, Agriculture Canada, septembre 1986), p. 21.

15. Pour une discussion sur l'histoire de la recherche en irradiation des aliments, voir George G. Giddings, "A Reply to Food Irradiation Critics", lettre ouverte reproduite par Isomedix Inc., 11 Apollo Drive, Whippany, New Jersey 07981, novembre 1984, et W.M. Urbain, "Significant Milestones of Progress to Date in Food Irradiation and Identification of Areas of Future Advances," dans Food Irradiation Processing, Proceedings of a Symposium, Washington, D.C., 4 au 8 mars 1985 (Vienne, AIEA/FAO, 1985).

16. Royaume-Uni, Advisory Committee on Irradiated and Novel Foods, Report on the Safety and Wholesomeness of Irradiated Foods (Londres, Her Majesty's Stationery Office, 1986), p. 10.

17. Ibid.

18. Organisation mondiale de la santé, Salubrité des aliments irradiés, rapport d'un comité mixte AIEA/FAO/OMS d'experts (série de rapports techniques de l'Organisation mondiale de la santé, n° 659, 1981).

19. Council for Agricultural Science and Technology, Ionizing Energy in Food processing and Pest Control, n° 1. Wholesomeness of Food treated with ionizing Energy. Rapport n° 9, Ames, Iowa, juillet 1986, p. 5.

20. Royaume-Uni, Advisory Committee on Irradiated and Novel Foods, op. cit., p. 17.

21. Pamela S.Zurer, op. cit., p. 48.

22. États-Unis, Federal Register, 51:75 (1986), p. 13377.

23. Royaume-Uni, Advisory Committee on Irradiated and Novel Foods, op. cit., p. 17.

24. Council for Agricultural Science and Technology, op. cit., p. 5.

25. Pamela S. Zurer, op. cit., p. 49.

26. Royaume-Uni, Advisory Committee on Irradiated and Novel Foods, op. cit., p. 18.

27. A.I. Levina et A.E. Ivanov, "Pathomorphology of the Kidneys in Rats after Prolonged Ingestion of Irradiated Foods", Bulletin of Experimental Biology and Medecine 85 (1978), p. 236-238; et A.E. Ivanov et A.I. Levina, "Pathomorphological Changes in the Testes of Rats Fed on Products Irradiated with Gamma Rays," Bulletin of Experimental Biology and Medecine 91 (1981), p. 232-234.

28. P.C. Kesavan et P.V. Sukhatame, Summary of the Technical Report on the data of NIN, Hyderabad and BARC, Bombay on the Biological Effets of Freshly Irradiated Wheat, Rapport inédit présenté au Comité mixte d'experts FAO/AIEA/OMS sur la salubrité des aliments irradiés (fourni gracieusement par la Food and Drug Administration), 1976.

29. Ralston Purina Co., Final Report: A Chronic Toxicity, Oncogenicity and Multigeneration Reproductive Study Using CD-1 Mice to Evaluate Frozen, Thermally sterilized, Cobalt-60 Irradiated, and 10 MeV Electron Irradiated Chicken Meat, Rapport présenté au ministère de l'Agriculture des États-Unis, Agricultural Research Service (Washington, United States Department of Agriculture, juin 1983).

30. Pour une discussion des résultats de Ralston Purina, voir États-Unis, Federal Register 51: 75 (1986), p. 13386; et Council for Agricultural Science and Technology, op.cit., p. 21.

31. Voir T.K. Murray, "Nutritional Aspects of Food Irradiation", dans P.S. Elias et A.J. Cohen, éd. Recent Advances in Food Irradiation (Amsterdam, Elsevier, 1983), p. 203.

32. E.S. Josephson, M.H. Thomas et W.K. Calhoun, "Nutritional Aspects of Food Irradiation: An Overview", Journal of Food Processing and Preservation 2 (1978), p. 299-313.

33. Pamela S. Zurer, op.cit., 51.

34. États-Unis, Federal Register, 51:75 (1986), p. 13376-13399, et A. Toufexis, "Food Fight Over Gamma Rays", Time (22 septembre 1986), 50.

35. Voir États-Unis, Chambre des Représentants, Committee on Agriculture, audience devant le Subcommittee on Department Operations, Research, and Foreign Agriculture, Federal Food Irradiation Development and Control Act of 1985, 99e Congrès, N° 99-14 (Washington, U.S. Government Printing Office, 18 novembre 1985), 1-1229.

36. K. Knight, An Overview of Food Irradiation in Canada, document inédit préparé pour le Conseil des sciences du Canada (Ottawa, 1985).

37. Voir B.L. Smith, "L'irradiation des aliments : un regain d'intérêt", Revue du marché alimentaire 6, 4 (Ottawa, Agriculture Canada, décembre 1984).

38. Une réponse intitulée "Gamma Irradiation as a Means of Food Preservation in Canada" a été préparée par L.R. Pim pour la Fondation Pollution Probe. Pour en obtenir un exemplaire, écrire à la Fondation, au 12, Madison Avenue, Toronto (Ontario) M5R 2S1.

39. Pour obtenir des exemplaires des Lettres de renseignements portant sur l'irradiation des aliments, s'adresser à la Division de la politique de réglementation, Direction des aliments, Direction générale de la protection de la santé, Santé et Bien-être social Canada, Ottawa (Ontario) K1A 0L2.

40. RADURA est un acronyme qui s'inspire, croit-on, de l'expression anglaise "durability enhanced by radiation." Il s'agit également d'une contraction utile et facile à retenir des mots radurisation, radicidation et radappertisation.

41. Pour obtenir des exemplaires des communiqués 39 et 50 ou d'autres communiqués qui seront publiés plus tard, s'adresser à la Division de la production des denrées alimentaires, Direction des produits de consommation, Consommation et Corporations Canada, Place du Portage, Phase 1, 16e étage, 50, rue Victoria, Hull (Québec) J1A 0C9.

42. Pour des renseignements généraux, voir Rosanna M. Morrison et Tanya Roberts, Food Irradiation: New Perspectives on a Controversial Technology, A Review of Technical, Public Health, and Economic Considerations, United States Office of Technology Assessment (Washington, D.C., décembre 1985), p. 162.

43. H.G. Gay et J.G. Kotler, "Food Irradiation: Economics of Gamma Processing in Cobalt-60 Irradiation Facilities." Document préparé pour l'atelier sur la tranformation des aliments, Association des nations de l'Asie du Sud-Est, Bangkok, Thailande, 26-28 novembre 1985, (Kuala Lumpur, Malaisie, ASEAN Food Handling Bureau, 1986)

44. R. Krystynak, "L'irradiation des aliments : une perspective économique", Revue du marché alimentaire 8, 3 (Ottawa, Agriculture Canada, septembre 1986), p. 17.

45. E. Meyer, "Chilean Fruticulture and Market Development for Export of Irradiated Fruits from Chile". Document préparé pour la réunion du groupe de travail sur la commercialisation et les relations publiques du Groupe consultatif international sur l'irradiation des aliments de l'AIEA/FAO, Ottawa, du 8 au 12 septembre 1986 (Vienne, AIEA/FAO, sous presse).

46. Canadian Gallup Poll Ltd., Marketability Testing of Irradiated Fish and Seafood, mai 1984.

47. Brand Group, Inc., Irradiated Seafood Products: A Position Paper for the Seafood Industry (Chicago, Illinois, janvier 1986).

48. Wood, D.F., "Irradiation and its Application -- Plant Products", Conférence sur l'irradiation et ses applications, 26-28 septembre 1984, Centre de recherches en sciences appliquées à l'alimentation (Laval, Québec, Institut Armand-Frappier, 1985), p. 123.